Probleme des innerbetrieblichen Transportes in betriebstheoretischer Sicht

---

von

Manfred Ahlsdorff

Göttingen

1965

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544314_0018

Probleme des innerbetrieblichen Transportes in betriebstheoretischer Sicht

Dissertation

zur Erlangung des

wirtschaftswissenschaftlichen Doktorgrades

der

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät

der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt

von

Manfred Ahlsdorff

aus Gelsenkirchen

Göttingen 1965

Berichterstatter: Professor Dr. W. Lücke

Mitberichterstatter: Professor Dr. A. Angermann

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Januar 1965

Meinem Vater zum Gedenken

Inhalt

Seite

Erstes Kapitel
Der innerbetriebliche Transport

1. Charakteristik 1
2. Bedeutung 3
3. Betriebswirtschaftliche Problemstellung 4

Zweites Kapitel
Darstellung des innerbetrieblichen Transportes

1. Die Produktion als betriebliche Funktion 5
2. Definition des Begriffes innerbetrieblicher Transport 7
   - 20. Abgrenzung zum materials handling 9
   - 21. Abgrenzung zum Werkverkehr 10
   - 22. Endgültige Definition 11
3. Produktionstheoretische Darstellung des innerbetrieblichen Transportes 12
   - 30. Das System der Produktionsfaktoren 12
   - 31. Menschliche Arbeitsleistung 13
   - 32. Betriebsmittel 15
   - 33. Werkstoffe 19
4. Transportobjekte 22
   - 40. Allgemeines 22
   - 41. Nachrichten 23
   - 42. Personen 24
   - 43. Güter 25
   - 44. Rangordnung der drei Transportobjekte 26
   - 45. Bedeutung der Transportobjekte für eine Theorie des Transportes 26
5. Aufgaben des Innentransportes 27
6. Seine Stellung innerhalb der Gesamtheit der betrieblichen Leistungserstellung 29

Drittes Kapitel
Planung, Organisation und Kontrolle im innerbetrieblichen Transportwesen

1. Planung 31
   - 10. Die Stellung des Förderwesens in der Gesamtplanung 31
   - 11. Anpassung von Transport und Erzeugung 35
   - 12. Der Transportplan als Bereitstellungsplan 44

Seite

120. Auswahl der Fördermittel 44
1200. ... nach Fertigungsverfahren 45
1201. ... nach Transportobjekten 48
1202. ... nach dem Förderweg 50
121. Bereitstellung von Personal und Hilfsmitteln 51
13. Transportwirtschaftliche Ablaufplanung 52
130. Analyse der Transportzeit 53
131. Einflußgrößen auf den Faktor Zeit 56
1310. Geschwindigkeit 57
1311. Weg 61
13110. Grundformen des Transportweges 62
13111. Der innerbetriebliche Standort 66
14. Planungsunterlagen 70
2. Organisation 72
20. Grundsätzliches zur Organisation 72
21. Zentralisiertes oder dezentralisiertes Transportwesen 72
22. Bedeutung und Aufgaben einer Transportzentrale 75
23. Ihre Stellung im Rahmen des Gesamtbetriebes 78
24. Der organisatorische Aufbau einer Transportzentrale 79
3. Kontrolle 82
30. Kontrollfunktionen im Transportbereich 82
31. Die Überwachung transportlichen Geschehens 83

Viertes Kapitel

Kosten des innerbetrieblichen Transportes

1. Begriff der Transportkosten 87
10. Bezugsgrößen 88
11. Kostentheoretische Betrachtung 89
2. Kostenarten 97
20. Darstellung typischer Transportkosten 97
21. Die Transportkosten in Abhängigkeit vom Beschäftigungsgrad 100
22. Die Erfassung innerbetrieblicher Transportkosten 105
220. Problematik der Einzel- und Gemeinkosten 105
221. Der Transportkostenfaktor 109
222. Fehlerrechnung bei der Bestimmung von Transport-Sollkosten 111
23. Zusammenfassung 117
3. Die Verrechnung innerbetrieblicher Transportkosten 118
30. Innerbetrieblicher Transport als innerbetriebliche Leistung? 118
31. Die Verrechnung innerbetrieblicher Transportkosten über Kostenstellen 121
310. ... bei einseitiger Leistungsbeziehung 121
311. ... bei wechselseitiger Leistungsbeziehung 124
3110. Sukzessive Verrechnung bei dezentralisierter Organisation des Förderwesens 124
3111. Simultane Verrechnung bei Bestehen einer Transportzentrale 126

Seite

32. Die Anwendung der Matrizenrechnung 129
320. Grundsätzliches zur betrieblichen Problematik 129
321. Lösung mit Hilfe von Determinanten 130
322. Lösung mit Hilfe einer erweiterten Matrix 132
33. Zusammenfassung 137

Fünftes Kapitel

Wirtschaftlichkeitsrechnung im innerbetrieblichen Transportwesen

1. Wesen und Arten der Wirtschaftlichkeitsrechnung 138
2. Spezifische Probleme bei Investitionsentscheidungen im Innentransport 141
3. Investitionsrechnung auf der Grundlage von Kosten oder Ausgaben 145
4. Anwendung ausgewählter Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf das Transportwesen 146
40. Traditionelle Verfahren 146
41. Die Annuitätsmethode 148
42. Der Einfluß des Ausfallrisikos 152
43. Die approximative Annuitätsmethode 155
44. Die Mapi-Verfahren 156
440. Die 1. Mapi-Formel 156
441. Die 2. Mapi-Formel 160
45. Ersatzprobleme im Operations Research 167
450. Allgemeine Prämissen 167
451. Darstellung des Verfahrens 168
452. Veranschaulichung des Verfahrens an Hand eines Beispiels 174
453. Die Verbindung zu der Konzeption von Schneider 180

Sechstes Kapitel

Die organisatorische Rationalisierung des innerbetrieblichen Transportwesens

1. Zum Begriff der organisatorischen Rationalisierung 183
2. Transportmodelle im Operations Research 184
20. Lösung mit Hilfe der Distributionsmethode 185
21. Lösung mit Hilfe der Simplex-Methode 190
3. Das Problem des kürzesten Rundreiseweges 192
30. Beschreibung des ökonomischen Problems 192
31. Darstellung mathematischer Lösungsverfahren 193
310. Der allgemeine mathematische Ansatz 193
311. Lösungsversuch mit Hilfe des Dreieckverfahrens nach Thüring 195
3110. Darstellung des Verfahrens 195
3111. Grenzen der Anwendbarkeit des Verfahrens 202

Seite

312. Lösungsversuch mit Hilfe des Zurechnungsverfahrens 204
3120. Darstellung des Verfahrens 204
3121. Grenzen der Anwendbarkeit des Zurechnungsverfahrens 205
313. Lösungsversuch durch das Simplex-Kalkül 208
3130. Darstellung des Verfahrens 208
3131. Kritische Würdigung des Verfahrens 215
314. Lösungsversuch nach einem zweiten Verfahren von Thüring 217
3140. Darstellung des Verfahrens 217
3141. Kritische Würdigung des Verfahrens 224
315. Lösungsversuch mit Hilfe des 'branch and bound'-Algorithmus 224
3150. Darstellung des Verfahrens 224
3151. Die Qualität des Algorithmus 228
4. Die Netzwerktechnik als Instrument der Transportplanung 229
40. Entwicklung des Netzwerkes 229
41. Kostenbetrachtungen 234
5. Der innerbetriebliche Transport als Rationalisierungsreserve 237

Abkürzungen 239

Literaturverzeichnis 240

Erstes Kapitel

Der innerbetriebliche Transport

1. Charakteristik

Der betriebliche Produktionsprozeß vollzieht sich als Kombination der Elementarfaktoren Betriebsmittel, Werkstoffe und menschliche Arbeitsleistung[1] und ihrer Transformation zu Erzeugnissen[2]. Der quantitativen und qualitativen Auswahl von Produktionsfaktoren folgt ihre konkrete räumliche Zuordnung. Die Menge, das Gewicht oder die Größe eines jeden Faktors bestimmt weitgehend den Produktionsort. Die mehr oder weniger intensiven Bewegungsvorgänge, die mit der Kombination von Produktionsfaktoren verbunden sind, verleihen jedem Betrieb den äußeren Eindruck der Leistungserstellung: panta rhei, alles fließt. Es sind Sachströme[3], die in vielfältiger Zahl und Stärke in den Betrieb einmünden, ihn in den verschiedensten Richtungen durchfließen, um nach vollzogener Transformation den Produktionsort zu verlassen. Alle Bewegungsvorgänge innerhalb des Betriebes, gewissermaßen von Werktor zu Werktor, bezeichnen wir als innerbetrieblichen Transport. Seine rationelle Gestaltung ist eine wesentliche Bedingung für die optimale Ergiebigkeit der Elementarfaktoren.

Der innerbetriebliche Transport wird in der wirtschaftswissenschaftlichen Theorie und in der Praxis oft als unproduktive Tätigkeit bezeichnet, obwohl eine Produktion ohne Bewegungsvorgänge undenkbar ist. Gleichwohl verursacht der Transport von Personen, Material und Nachrichten Kosten, denen kein sichtbarer Ertrag gegenüberzustehen scheint. Dabei ist der Nutzen einer

---

[1] Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, I. Band, Die Produktion, 7. Aufl., Berlin - Göttingen - Heidelberg 1962, S. 3.

[2] Lücke, W.; Produktionsplanung, Handwörterbuch der Sozialwissenschaften, 47. Lieferung, S. 574.

[3] Angermann, A.; Gleichgewichtskalkulation, Meisenheim am Glan 1963, S. 11.

Überbrückung räumlicher Entfernungen durchaus quantifizierbar. Wenn sich der Wert eines Produktes dadurch steigert, daß beispielsweise eine Nut eingefräst wird, so mag eine Werterhöhung auch dann vorliegen, wenn das Gut von Ort A und Ort B transportiert wird. In beiden Fällen bestimmen die Kosten die Wertsteigerung, einmal die Lohnkosten im anderen Fall die Transportkosten. Räumliche Präferenzen sind in der Wirtschaftswissenschaft bereits seit Heinrich von Thünen bekannt. Eine Rechtfertigung, den innerbetrieblichen Transport als unproduktiv zu bezeichnen, kann dann bestehen, wenn man alle Produktionsvorgänge, die nicht unmittelbar auf das Produkt einwirken, als unproduktiv ansieht. Auch dagegen bestehen Bedenken, denn ein Teil innerbetrieblicher Aufgaben liegt in der Beförderung des Erzeugnisses selbst, ein unmittelbarer Eingriff also, was zu dem Schluß führen muß, daß es einen produktiven und einen unproduktiven Transport gäbe. Der Grund vor der Bezeichnung unproduktiv zu warnen, liegt im psychologischen Bereich: Unproduktive Funktionen im Rahmen betrieblicher Leistungserstellung erfahren oft eine unvertretbare Vernachlässigung.

Der innerbetriebliche Transport dient der Überwindung von Räumen und hat damit eine unmittelbare Einwirkung auf ein betriebswirtschaftliches Zentralproblem: die Überbrückung der Zeit. Die Produktionsgeschwindigkeit ist in erster Linie von der Gestaltung betrieblicher Bewegungsvorgänge abhängig. In vielen Betrieben setzt eine Rationalisierung zunächst bei der eigentlichen Erzeugung an; die gesamte Produktionszeit zu verringern, scheitert dann zumeist am Engpaß Innentransport.

Der innerbetriebliche Transport ist eine Hilfsfunktion der Erzeugung. Er kann nur innerhalb dieses Rahmens zur Produktivität des gesamten Betriebes beisteuern. In dem Bereiche jedoch selbständige Variante der Produktion, kann der Innentransport mehr oder weniger rationell gestaltet sein. Je mehr sich der Transport seinem Minimum, das heißt seiner Selbstaufgabe nähert, desto größer ist seine Wirtschaftlichkeit. Das theoretische Minimum kann nie erreicht werden, aber es besteht für jeden Betrieb ein bestimmtes Optimum des innerbetrieblichen Transportwesens, das im Zuge technischer

und organisatorischer Vervollkommnung einer dynamischen Veränderung unterworfen ist. Die betriebliche Praxis läßt erkennen, daß man in aller Regel von diesem Optimum weit entfernt ist. Dies mag auch der Grund für die Bezeichnung unproduktiver Transport sein.

2. Bedeutung

Leistung und Aufwand des Innentransportes finden in der Betriebsabrechnung nur selten einen eigenen Platz. Als Kosten einer Hilfsfunktion geht der Verbrauch von Produktionsfaktoren für das Transportwesen in den großen Posten der Gemeinkosten ein. Dabei wäre es gerade die Kenntnis von der Höhe der Transportkosten, die in der Betriebsleitung den Willen nach Rationalisierungsmaßnahmen wachrufen würde. Der Anteil der eigentlichen Erzeugung an der gesamten Produktion ist gegenüber den Bewegungsvorgängen in sehr vielen Betrieben verschwindend gering. Nach amerikanischen Faustregeln[1] müssen in der Stahlindustrie 50 Tonnen Material bewegt werden, um 1 Tonne des Fertigproduktes herzustellen. Die Kosten des Innentransportes betragen 50 bis 80 Prozent der gesamten Selbstkosten. Für deutsche Betriebe sind ähnliche Zahlen angängig, wenn auch genaue Untersuchungen über Transportprobleme noch weitgehend fehlen. So findet man dann in Betrieben, von denen ihre Leiter behaupten, sie seien "durchrationalisiert", daß die Durchlaufszeit eines Artikels neun Tage beträgt, während für die eigentliche Bearbeitung nur 45 Minuten benötigt werden, wie aus den Lohnscheinen hervorgeht. Ein Verhältnis Transportzeit zu Bearbeitungszeit von 108 : 1 ! Beispiele dieser Art lassen sich in beliebiger Zahl anführen. Der Grund für das unverhältnismäßig hohe Ausmaß der Transportkosten liegt vor allem in der mangelhaften Gestaltung des Förderwesens begründet, und dies wiederum ist darauf zurückzuführen, daß in den meisten Fällen eine Erhebung über innerbetriebliche Transportkosten oder eine Analyse des Innentransportes überhaupt fehlt.

---

[1] So u.a. im Production Handbook, edited by G.B. Carson, 2nd Edition, New York, 1959, S. 23-3.

Besonders gravierend für die Höhe der Kosten ist auch die Tatsache, daß eine Reihe von Facharbeitern neben ihrer qualifizierten Tätigkeit Transportarbeiten zu verrichten hat.

3. Betriebswirtschaftliche Problemstellung

Nicht nur die Praxis auch die betriebswirtschaftliche Theorie brachte Problemen des Förderwesens nur wenig Interesse entgegen. In Zeiten der Vollbeschäftigung dominieren markt- und finanzwirtschaftliche Untersuchungen. Eine sich abzeichnende konjunkturelle Stagnation, die hohe Last der fixen Kosten und der verschärfte Wettbewerb zwingen jedoch zu einer eingehenden Analyse aller betrieblichen Teilbereiche, insbesondere der Hilfsfunktionen der Produktion. Da der innerbetriebliche Transport einen sehr großen Verbrauch an Kostengütern verursacht, kann man annehmen, daß hier noch ein großes Maß an Rationalisierungsreserven ruht, und es liegt daher nahe, sich diesem Problemkreis zuzuwenden.

Wir fassen den Transport als eine der vielen Varianten betrieblicher Leistungserstellung, also der Produktion, auf und werden im folgenden versuchen, besondere Probleme des Innentransportes nach dem neuesten Stand produktionstheoretischer Erkenntnisse zu analysieren. Eine umfassende Darstellung des innerbetrieblichen Förderwesens zu geben, ist nicht unsere Absicht, da sich in vielem die allgemeinen theoretischen Ergebnisse der Betriebswirtschaftslehre ohne weiteres auf eine Transportwirtschaft übertragen lassen. Vielmehr sollen hier spezifische Probleme des Innentransportes behandelt werden, die im wesentlichen in dem Bereich der dispositiven Faktoren, der Wirtschaftlichkeitsrechnung und der Kostenrechnung liegen. In dem Kapitel über die organisatorische Rationalisierung haben wir Probleme des Innentransportes mit Methoden des Operations Research zu lösen versucht, insbesondere das Problem des kürzesten Rundreiseweges.

Die Untersuchung bezieht sich auf einen modellhaften Inhalt, so daß weder die Vorstellung an eine bestimmte Betriebsgröße noch an einen bestimmten Wirtschaftszweig den Ausführungen zugrunde liegt. Wenn die meisten der angeführten Beispiele dennoch aus

dem Bereich der Industrie stammen, so liegt das in der dort anzutreffenden Vielfältigkeit des Innentransportes begründet. Insbesondere aber sei darauf verwiesen, daß gerade die Landwirtschaft ein dankbares Objekt transportwirtschaftlicher Untersuchungen darstellt.

Z w e i t e s K a p i t e l

Darstellung des innerbetrieblichen Transportes

1. Die Produktion als betriebliche Funktion

Der Zweck eines jeden Betriebes ist das Hervorbringen von Gütern oder Leistungen. Der erwerbswirtschaftlich ausgerichtete Betrieb, die Unternehmung im Sinne GUTENBERGS[1], vollzieht die Erstellung, die Produktion, von Sachgütern und Dienstleistungen mit dem Ziel der Gewinnmaximierung.

Der Begriff der Produktion erfährt in der Wirtschaftstheorie verschiedene Auslegungen. H. v. STACKELBERG sieht neben der Umformung der Güter auch ihren Transport an den Ort des Bedarfs und die Bereitstellung zum Zeitpunkt des Bedarfs als Inhalt der Produktion an[2]. "Die Produktion stellt eine Umwandlung von Gütern höherer Ordnung in Güter niederer Ordnung dar. Die Ordnung eines Gutes wird durch jede Maßnahme herabgesetzt, die das Gut näher an den Konsum heranbringt. Deshalb gehören auch der Transport und der Handel zur Produktion"[3].

---

[1] Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band 1., Die Produktion, 7. Auflage, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1962, S. 351.

[2] Stackelberg, H. v.; Grundlagen der theoretischen Volkswirtschaftslehre, 2. Auflage, Tübingen - Zürich 1951, S. 4.

[3] Stackelberg, H. v.; a.a.O., S. 2

In der Betriebswirtschaftslehre wird der Begriff Produktion allgemein enger gefaßt. GUTENBERG teilt den Betrieb in die drei großen Teilbereiche Leistungserstellung, Leistungsverwertung und finanzielle Sphäre auf[1], wobei der erste Teilbereich der Produktion gleichzusetzen ist. "Die Gewinnung der Rohstoffe in den Gewinnungsbetrieben, die Herstellung der Erzeugnisse in Fertigungsbetrieben, die Bearbeitung der Rohstoffe oder Fabrikate in den Veredelungsbetrieben, die Bereitstellung von Diensten durch die Dienstleistungsbetriebe bezeichnen wir als "betriebliche Leistungserstellung"[2].

Im Sinne dieser Definition produziert jeder Betrieb - eben auch jener, der Dienstleistungen erstellt. Daher verlangt der Begriff der Produktion für den Industriebetrieb nach einer weiteren Einengung. Die Produktionsaufgaben des Industriebetriebes bestehen in der Gewinnung, Fabrikation, Konfektion, Veredelung und Montage von Sachgütern[3]. Hier ist Produktion mit Erzeugung im Sinne von HENNIG und RIEBEL gleichzusetzen[4]. "Unter Erzeugung wird ... die Gewinnung, Umwandlung und Umformung von Sachgütern, zu denen auch die Energien gerechnet werden, verstanden"[5].

Dieser Ausdeutung des Begriffes Produktion für den Industriebetrieb schließen wir uns an.

Voraussetzung für die Aufnahme jeder industriellen Produktion ist das Vorhandensein der Elementarfaktoren Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe, sowie der dispositiven Faktoren Organisation und Planung[6]. Die Erzeugung der Sachgüter vollzieht sich durch

---

[1] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 2.

[2] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 2.

[3] s.Kalveram, W.; Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1960, S. 20.

[4] Hennig, K.W.; Betriebswirtschaftslehre der industriellen Erzeugung, Die Wirtschaftswissenschaften, Wiesbaden 1960, S. 9.

[5] Riebel, P.; Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Die Wirtschaftswissenschaften, Wiesbaden 1963, S. 11.

[6] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 3.

die Kombination der Elementarfaktoren. Diese Faktoren fließen in den Industriebetrieb als Güterstrom ein. Sie werden beschafft durch den in Geld transformierten Güterstrom der den Betrieb verlassenden absatzfähigen Produkte. Somit stellt der Industriebetrieb eine Zelle im ökonomischen Prozeß dar, in den die von fremden Wirtschaftseinheiten bezogenen Produktionsfaktoren als Güterstrom einmünden, und die Geldaufwendungen für diese Faktoren den entgegenfließenden Geldstrom bedeuten[1]. "Unter der Annahme, daß der Faktorenstrom ohne Lagerung in die Produktion einmündet, wird der Faktorenstrom zum Sachaufwandstrom und der Geldstrom zum Kostenstrom"[2].

Von der Einmündung der Elementarfaktoren in den Betrieb bis zum Verlassen der fertigen Güter wird der Sachstrom zum innerbetrieblichen Güterstrom. Er fließt vom Werkeingang bis zum Werkausgang; er hat seine Stauungen durch Produktionsengpässe, fließt in Seitenkanäle und erweitert sich im Bereich des Lagerwesens zu einem nur noch träge fließenden Stausee. Die Bewältigung des Sachstroms innerhalb des Betriebes erfolgt durch den innerbetrieblichen Transport.

2. Definition des Begriffes "innerbetrieblicher Transport"

Der Begriff "innerbetrieblicher Transport" wird nicht überall in der betriebswirtschaftlichen Theorie und Praxis einheitlich angewendet. Neben ihm finden wir die termini Innentransport und innerbetriebliches Förderwesen. Während die Begriffe Innentransport und innerbetrieblicher Transport als Synonyme anzusehen sind, erscheint die Übertragung des aus dem bergmännischen Sprachgebrauch stammenden Verbs fördern auf den Transportbereich problematisch. Fördern im ursprünglichen Sinne des Wortes heißt "aus dem Schacht fortschaffen ; erst seit dem 16. Jahrhundert bedeutet es dann fortbewegen schlechthin[3]. Im Bergbau

---

[1] Angermann, A.; Gleichgewichtskalkulation, a.a.O., S. 11.
[2] ebenda.
[3] Kluge, Fr.; Etymologisches Wörterbuch, 18. Aufl., Berlin 1960.

wird fördern jedoch immer noch in der Bedeutung von "zu Tage schaffen" verwendet und eine Übertragung auf andere Bereiche im Sinne von "befördern" könnte zu Verwechslungen führen. Inzwischen ist der Begriff Förderwesen als Verdeutschung des Ausdrucks Transportwesen so fest Bestandteil des fachlichen Sprachgebrauchs geworden, daß man beide Begriffe synonym verwenden kann[1].

Transport ist ein Teilbereich des umfassenderen Ganzen: Verkehr. Unter Verkehr in der wirtschaftlichen Terminologie versteht PREDÖHL "die Gesamtheit der Vorgänge", die im Bereich der Wirtschaft der Raumüberwindung dienen"[2]. Somit umfaßt der Verkehr nicht nur den Transport von Personen, Gütern und Nachrichten, sondern auch "Die den Transport vorbereitende Ordnungs- und Sammeltätigkeit, wie sie im Speditionsgeschäft oder im Lagerhausgeschäft vollzogen wird oder in Anstalten wie der Post"[3].

Der Verkehr vollzieht sich zwischen den einzelnen Wirtschaftszellen und innerhalb der Wirtschaftszellen. Der letzte Fall, den PREDÖHL aus seinen Untersuchungen über den Verkehr ausscheidet, kennzeichnet den innerbetrieblichen Transport oder besser, um bereits durch den Begriff auch auf die dispositive Funktion hinzuweisen, das innerbetriebliche Transportwesen.

Während wir unter transportieren den Vollzug des Beförderungsaktes, d.h. "jede bewußte Ortsveränderung von Gütern und Personen zwischen den einzelnen Bearbeitungsstufen und Lagerungen"[4] verstehen wollen, können wir, da die von PREDÖHL als Kriterium für den Verkehr genannte Ordnungs- und Sammeltätigkeit auch in-

---

[1] besonders die technische Literatur bevorzugt den Begriff Förderwesen, was in der RKW Terminologie deutlich zum Ausdruck kommt. S. auch die Zeitschrift "Fördern und Heben".

[2] Predöhl, A.; Verkehrspolitik, Göttingen 1958, S. 9.

[3] Predöhl, A.; Verkehr, HdSW, Band 11, S. 102.

[4] VDI-AWF-Handbuch Förderwesen: Materialfließuntersuchungen 1959, S. 2.

nerhalb der Betriebsgrenzen Gültigkeit hat, das innerbetriebliche Transportwesen dem Verkehr innerhalb eines Betriebes im Sinne PREDÖHLs gleichsetzen und es definieren, als die Gesamtheit aller Vorgänge, die innerhalb eines Betriebes der Raumüberwindung dienen. Damit ist gesagt, daß der Begriff Transportwesen nicht nur die Bewegung als soche zum Inhalt hat, sondern die Vorbereitung und Durchführung von Ortsänderung von Personen, Sachmitteln und Nachrichten. Ähnlich definiert LE COUTRE: "Unter Förderwesen verstehen wir alle Maßnahmen zur Bewegung von Personen, Gütern und Nachrichten"[1]. Diese Formulierung macht gleichzeitig den identischen Inhalt der termini Transport- und Förderwesen ersichtlich.

20. Abgrenzung zum materials handling

Eine Einengung in seiner Bedeutung erfährt der Begriff Innentransport von einigen Autoren insofern, als die Beförderung von Personen ausgeklammert wird[2].

Dieses Vorgehen ist besonders in den USA anzutreffen, wo das Förderwesen unter der Bezeichnung materials handling eine wesentlich größere Beachtung erfährt, als das in Deutschland der Fall ist[3].

Nach IMMER ist materials handling die durch Bewegung oder Lagerung bedingte Bereitstellung, Anordnung und Unterbringung von

---

[1] Le Coutre, W.; Organisationslexikon, Berlin 1930, S. 176.

[2] S.z.B. Illetschko, L.; Innerbetrieblicher Transport und betriebliche Nachrichtenübermittlung, Stuttgart 1962, S. 9. Der innerbetriebliche Transport erstreckt sich nicht allein auf die Förderung von Material sondern auch auf die Fördertechnik von Schriftgut. Sowie Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2. Band, 4. Aufl., Freiburg i.Br. 1958, S. 268. Der betriebliche Innentransport umfaßt alle Stoffbewegungen im Betrieb ...

[3] S. bes. die beiden umfassenden Werke von Immer, J.R.; Materials Handling, New York, Toronto, London 1953 und Stocker, H.R.; Materials Handling, 2nd Edition, New York 1951

Material. Es umfaßt jeden Vorgang an dem Produkt außer des eigentlichen Produktionsprozesses und ist - in vielen Fällen - als ein integrierter Bestandteil des Fertigungsprozesses in ihnen enthalten[1].

Spezifischer definiert das Production Handbook:[2].

Unter materials handling versteht man das Aufheben und Absetzen sowie das Bewegen in horizontaler oder vertikaler - oder gegebenenfalls auch beider - Richtung von Material jeder Art in ihrem rohen, halbfertigen oder fertigen Zustand.

Es spricht nichts dagegen, den Begriff materials handling mit Materialbewegung zu übersetzen, ihn aber auf den Begriff Transportwesen auszudehnen, verbietet unsere Definition des Innentransportes. Auch in der amerikanischen Literatur besteht keine einhellige Meinung über eine exakte Abgrenzung. "Jede Materialbewegung ist Transport und jeder Transport ist Materialbewegung" schreibt STOCKER[3] "ob man den Prozeß nun materials handling oder Transport nennt, auf jeden Fall wird Material aufgeladen, transportiert und abgesetzt".

Die angeführten Begriffsbestimmungen des materials handling zeigen zwei wesentliche Unterschiede zum innerbetrieblichen Transport: Einmal ist materials handling insofern enger gefaßt, als es weder Personen noch Nachrichten einbezieht, zum anderen ist materials handling ex definitione nicht auf den lokalen Bereich des Betriebes beschränkt, sondern umfaßt auch Bewegungsvorgänge außerhalb des Betriebes.

21 Abgrenzung zum Werkverkehr

Der innerbetriebliche Transport vollzieht sich nur innerhalb der Grenzen des Betriebes. Personen-, Material- und Nachrichtenbewe-

---

[1] Immer, R.; a.a.O., S. 4.

[2] Production Handbook, herausg. v. Alford, L.P. und Bangs, J.R., New York 1950.

[3] Stocker, H.E.; a.a.O., S. 1.

gungen zum Betrieb hin oder von ihm weg bezeichnen wir als Außentransport; allerdings nur dann, wenn der Betrieb selbst Träger der Transportfunktion ist. In diesem Falle spricht man üblicherweise von Werkverkehr. "Unter Werkverkehr verstehen wir (gem. Güterkraftverkehrsgesetz vom 17.10.1952) jede für eigene Zwecke der Unternehmung durchgeführte Güterbeförderung durch Angehörige der Unternehmung"[1]. Den Verkehr zwischen verschiedenen Abteilungen eines Betriebes unter Benutzung öffentlicher Straßen rechnet man zum Werkverkehr.

22. Endgültige Definition

Als endgültige Definition kristallisiert sich aus: Unter innerbetrieblichem Transport verstehen wir die Gesamtheit aller Vorgänge, die innerhalb eines Betriebes der Raumüberwindung dienen. Im einzelnen umfaßt der innerbetriebliche Transport die Bewegungsvorgänge der Elementarfaktoren, der durch deren Kombination erzeugten Zwischen- und Fertigprodukte sowie der Nachrichten. Wir können daher nach Abschluß unserer Definitionsanalyse folgendes Schema aufstellen:

Transportaufgabe des Betriebes

Außenbereich	Innenbereich	Funktionen
Außentransportwesen (Werkverkehr)	innerbetriebl. Transportwesen	Planung, Organisation, Überwachung, Kontrolle
Sachmittel- und Personentransport	Sachmittel-, Personen- und Nachrichtentransport	Durchführung

Tabelle 1

[1] Lücke, W.; Wirtschaftlichkeitsrechnung im Werkverkehr, ZfB 1956, Heft 3, S. 159.

3. Produktionstheoretische Darstellung des innerbetrieblichen Transportes

30. Das System der Produktionsfaktoren

Betrachtet man den innerbetrieblichen Transport isoliert als einzelne Funktion - wenn auch im Hinblick auf die Erzeugung selbst - so ergibt sich die Notwendigkeit, die Zusammenhänge oder Gesetzmäßigkeiten aufzuzeigen, nach denen sich der Transport vollzieht. Die Erbringung einer Leistung setzt immer eine Kombination der Produktionsfaktoren voraus, deren Qualität und Quantität in einer ganz bestimmten Relation zur Ausbringung stehen. Sehen wir, wie v. STACKELBERG[1], die Produktion als eine "Umwandlung von Gütern höhere Ordnung in Güter niederer Ordnung" und messen wir diese Abstufung an der Konsumnähe des Gutes, so gehört auch der Transport zur Produktion. "Dementsprechend gilt die Theorie der Produktion mutatis mutandis auch für den Transport"[2]. Bezeichnen wir die Elementarfaktoren, die zur Erbringung einer Transportleistung[3] erforderderlich sind, mit R_1, R_2... R_n, ihre Einsatzmengen mit r_1, r_2, ..., r_n, dann gilt für die Transportleistung die Produktionsfunktion $x = f(r_1 \dots r_n)$[4]. Berücksichtigen wir, daß einige Faktoren nicht beliebig variierbar sind, sondern in einem bestimmten Verhältnis zur Ausbringungsmenge stehen, und bezeichnen wir diese fixen Faktoren mit F_1, F_2, ...F_m, ihre Einsatzmengen mit f_1, f_2, ... f_m und die variablen Faktoren mit V_1, V_2, ... V_n, ihre Einsatzmengen mit v_1, v_2, ... v_n, dann erweitert sich die Produktionsfunktion auf $x = F(v_1, v_2, \dots v_n) + F(f_1, f_2, \dots f_m)$[5].

Die drei Elementarfaktoren bilden die menschliche Arbeitsleistungen, die Werkstoffe und die Betriebsmittel. Diese Faktoren ergeben durch ihre Kombination auch im Transportprozeß die Leistung.

---

[1] v. Stackelberg, H.; Grundlagen ..., a.a.O.

[2] Predöhl, A.; Verkehrspolitik, a.a.O., S. 10.

[3] Auf die mißverständliche Anwendung des Begriffes Leistung in der Betriebswirtschaftslehre werden wir im 4. Kapitel eingehen.

[4] Vgl. Gutenberg, E.; Die Produktion, a.a.O., S. 194.

[5] Vgl. Angermann, A.; Gleichgewichtskalkulation, a.a.O., S. 13.

31. Die menschliche Arbeitsleistung

Die im Bereich des innerbetrieblichen Transportes mit ausführenden Arbeiten beschäftigten Personen sind entweder reine Transportarbeiter, die ständig am Transportprozeß beteiligt sind, oder Arbeiter, die nur gelegentlich zu Transportaufgaben herangezogen werden. Sie können direkter oder indirekter Förderträger sein[1]. Als direkter Transportträger benutzt der Mensch die eigene Kraft zur Beförderung eines Gutes. Benutzt er zu diesem Zweck kein Hilfsmittel, etwa eine Karre, so vollzieht sich der Produktionsprozeß des Transportes allein durch die beiden Elementarfaktoren Arbeit und Werkstoff. Indirekter Transportträger ist der Mensch, wenn die Bewegung der Last durch mechanische oder maschinelle Einwirkung erfolgt. Im Ablaufe eines Transportvorganges, z.B. beladen, befördern, umladen, befördern, entladen mit Hilfe eines Plattformwagens kann der Mensch sowohl direkter als auch indirekter Förderträger sein.

Für die optimale Ergiebigkeit menschlicher Arbeitsleistung im Transportbereich gelten dieselben, besonders von GUTENBERG aufgezeigten , Bedingungen, die für die Produktion schlechthin relevant sind[2].

Wie auf jedem Arbeitssektor muß auch hier eine Synchronisation der Kurve des Arbeitsschwierigkeitsgrades an die Eignungskurve der Gesamtheit des Transportpersonals angestrebt werden. In der Regel verläuft die Kurve der Arbeitsverrichtungen flach, etwa in der angeführten Form.

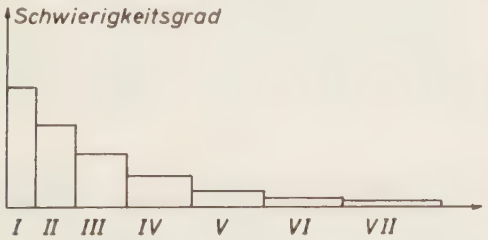


Abbildung 1

[1] Heiner, H.A.; Die Rationalisierung des Förderwesens in Industriebetrieben, Berlin 1961, S. 36.

[2] Gutenberg, E.; Die Produktion, a.a.O., S. 11 ff.

In der Darstellung sind sieben Arbeitsverrichtungen, entsprechend ihrer Schwierigkeit, nebeneinander auf der Abszisse aufgetragen. Die Ordinate stellt eine Skala des Schwierigkeitsgrades dar, ermittelt etwa nach dem Stufenwertzahl- oder Rangreihenprozentverfahren. Die Abbildung zeigt, daß mit sinkendem Schwierigkeitsgrad die Zahl der Arbeitsverrichtungen steigt. Die eingezeichnete Hyperbel ist natürlich nicht differenzierbar, sondern sie stellt vielmehr einen Trend dar.

Die Kenntnis der Kurve der Arbeitsverrichtungen führt zu dem Schluß, Transportarbeiten niemals von Facharbeitern ausführen zu lassen[1]. In der Praxis wird oft das Gegenteil beobachtet. Nicht selten muß sich qualifiziertes Maschinenpersonal das zu bearbeitende Material selbst vom Lager oder von einer Maschine holen und nach der Bearbeitung den Weitertransport durchführen. Das bedeutet einmal eine Verringerung des Ausnutzungsgrades der Kapazität, weil durch den Stillstand der Maschine eine Verzögerung des Produktionsflusses bewirkt wird, zum anderen eine Verteuerung des innerbetrieblichen Transportes, da der Facharbeiter bei der Verrichtung von Förderaufgaben "überbezahlt" wird[2].

Will die Betriebsleitung die Ergiebigkeit der menschlichen Arbeitsleistung auf dem Gebiet des Transportwesens steigern, so muß sie im wesentlichen drei Punkte beobachten.

1. Facharbeiter und anderes direkt an der Erzeugung beschäftigte Personal dürfen keine Transportarbeiten übernehmen, d.h. auch nicht entladen, umladen, beladen. Die geringe Wertsteigerung des Produktes durch ihre Transportdienste bildet kein angemessenes Äquivalent zu ihren höheren Löhnen. Transportarbeit sollte daher nur vom Transportpersonal ausgeführt werden.

---

[1] Diese Aussage gilt natürlich nicht für Transport-Facharbeiter des Transportgewerbes.

[2] Vgl. dazu die Lohngruppenskala z.B. im Lohntarifvertrag für die Niedersächsische Metallindustrie vom 25. August 1964 von der Industriegewerkschaft Metall.

2. Bei einem hohen Lohnniveau "muß es ein Ziel der Transportrationalisierung sein, den Menschen als direkten Förderträger weitgehend auszuschalten"[1], d.h. der Mensch übernimmt nur noch die Lenkung von Transportmitteln. Dieser Maßnahme sind natürlich durch Wirtschaftlichkeitsüberlegungen Grenzen gesetzt. Wie wir in einem späteren Kapitel sehen werden, muß eine exakte Kostenanalyse der Verfahrenswahl zugrunde liegen.

3. Schließlich sollte in konsequenter Fortführung der Erkenntnisse aus dem oben gesagten die menschliche Arbeit nach dem Prinzip der alternativen Substitution[2] soweit durch maschinelle oder mechanische Einrichtungen ersetzt werden, daß dem Förderpersonal lediglich die Steuerung von Fördereinrichtungen obliegt.

32. Betriebsmittel

Im System der produktiven Faktoren wird unter Betriebsmittel "die Gesamtheit aller betrieblichen Anlagen verstanden, die zur Erfüllung des Betriebszweckes erforderlich ist"[3]. Auf die Gegebenheiten des Transportwesens übertragen, stellen Fördermittel und Förderhilfsmittel die Betriebsmittel dar. Fördermittel sind Einrichtungen, die der Ortsveränderung der Transportobjekte dienen. Da durch sie allein eine rationelle Durchführung des Transportes oft nicht gewährleistet ist, verwendet man Förderhilfsmittel, das sind Behälter, Palletten, Stapeleinrichtungen usw., mit deren Hilfe die Kapazität eines Fördermittels besser ausgenutzt werden kann. Eine Aufzählung von Transportmitteln soll hier nicht erfolgen[4], statt dessen seien einige Kriterien genannt, nach denen eine Einteilung der Fördermittel möglich ist. Es gibt im wesentlichen zwei Arten des Förderns: stetig und intermittierend[5].

---

[1] Heiner, H.A.; a.a.O., S. 36.

[2] S, Gutenberg; Die Produktion, a.a.O., S. 289.

[3] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 56.

[4] Es sei auf das VDI/AWF-Handbuch Förderwesen verwiesen.

[5] Industrial Engineering Handbook, a.a.O., S. 2-108.

Entsprechend lassen sich die Fördermittel einteilen in stetig (kontinuierlich) fördernde und intermittierend (diskontinuierlich) fördernde Transportmittel. Diese Einteilung bietet sich schon deshalb an, weil durch sie eine Parallele zu dem Arbeitsablauf der Fertigungsmaschinen gegeben ist. Arbeiten die Anlagen in einem bestimmten, ununterbrochenen Rhythmus, empfiehlt sich die Einrichtung eines stetig arbeitenden Fördermittels. Eine weitere Einteilung wäre zu treffen nach der Elastizität der Linienführung: gleislose Transportmittel und gleis-gebundene Transportmittel[1]. Eine dritte Einteilung ist möglich in flurgängige und flurfreie Transportmittel[2]. Zu den flurgängigen Transportmitteln gehört die große Zahl der durch Kraftstoff-Motor oder batterie-elektrisch angetriebenen Flurfördermittel. Flurfreie Transportmittel besitzen den Vorteil, das Fördergut auch über unebene oder unterschiedlich hohe Böden, über Anlagen hinweg usw. bewegen zu können. Viertens lassen sich Transportmittel einteilen nach dem Substitutionsgrad der menschlichen Arbeit: von der menschlichen Kraft (u.U. auch durch Tiere) angetriebene, mechanisierte und automatische Fördermittel[3]. Letztlich sei noch eine Einteilung in spezialisierte Transportmittel und Universaltransportmittel angeführt[4]. Die angeführten Einteilungsmöglichkeiten ergeben zusammengefaßt folgende Übersicht:

1. Stetige Fördermittel (z.B. Förderbänder)	Intermittierende Fördermittel (z.B. Kraftwagen)
2. Gleislose Fördermittel	Gleisgebundene Fördermittel
3. Flurgängige Fördermittel (z.B. Gabelstapler)	Flurfreie Fördermittel (z.B. Deckenkrane)
4. Spezialfördermittel	Universalfördermittel
5. Handbetriebene, mechanische,	automatische Fördermittel

---

[1] Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2. Band, Freiburg i.Br. 1958.

[2] Haldimann, H.R.; Materialflußplanung als Grundlage der Werkstattplanung, in: Planung und Steuerung des Materialflusses in Fertigungsbetrieben, herausg. v. VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen, S. 13.

[3] Vgl. die Einteilung von Illetschko in a) Einzelfördermittel, b) Förderanlagen und Fördersysteme und c) Leitungssysteme.

[4] Mellerowicz, K.; a.a.O., S. 272.

Es läßt sich noch eine Reihe weiterer Einteilungsgesichtspunkte anführen, wie Art der Transportgüter, Beschaffenheit der Transportgüter, Antriebsart, Art der Transportstraße usw.. Eine Systematisierung aller Einteilungskriterien ist nicht möglich, da sich zu viele Überschneidungen ergäben. So hat eine verlangte Einteilung der Transportmittel sich jeweils nach der Förderaufgabe zu richten.

Die optimale Ergiebigkeit eines Betriebsmittels hängt neben der technischen Kapazität im wesentlichen von der Eignung für die konkreten Aufgaben der betrieblichen Leistungserstellung[1] ab. Im Transportwesen tritt die technische Leistungsfähigkeit als Auswahlkriterium nur allzu oft in den Vordergrund. Eine lange Lebensdauer des Motors, hohe PS-Zahlen oder Hubleistungen bilden zugkräftigere Argumente als Raumausnutzungsgrad, Vielseitigkeit und niedrige proportionale Kosten. Doch selbst eine wirtschaftlich günstige Leistungsfähigkeit in Verbindung mit einem tragbaren Anschaffungspreis und einer entsprechenden technischen Kapazität vermag über die Ergiebigkeit eines Transportmittels nur wenig auszusagen. Wie bei kaum einem anderen Betriebsmittel ist bei den Fördermitteln der planmäßige Einsatz, mit dem Ziel einer ständigen "Vollbeschäftigung", von eminenter Bedeutung. Gerade im Bereich des Förderwesens liegt die Gefahr einer mangelhaften Ausnutzung der vorhandenen Transportmittel nahe. Dieser Umstand ist Gegenstand späterer Erörterungen, doch soll zur Untermauerung noch erwähnt werden, daß bei der Erfüllung einer bestimmten Transportaufgabe eine Leerfahrt die Ergiebigkeit des Fördermittels, bezogen auf das Leistungsvermögen, um 50 % senkt. "Im Transportwesen ist eine optimale Lösung nur dann möglich, wenn das Fördergerät wie eine Maßarbeit der gestellten Förderaufgabe angepaßt wird"[2].

Neben den bereits erwähnten Ponderabilien wie Anschaffungspreis, Verbrauchsfunktionen, Elastizität usw. sind zwei Faktoren für eine optimale Ergiebigkeit der Fördermittel besonders wichtig.

---

[1] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 57.

[2] Der Transportberater, Typentafeln, 1959.

Einmal der Ausnutzungsgrad der zur Verfügung stehenden Ladefläche, zum anderen die Nutzung der Zeiten des Fördermittels. Was die Kapazität der Transportmittel anbelangt, so müssen die Maximen einer rationellen Transportgestaltung lauten "keine Leerfahrten, möglichst volle Ausnutzung der Ladefähigkeit erreichen, raumsparend laden" usw..

Die Fördermittelzeiten kann man wie folgt einteilen[1]:

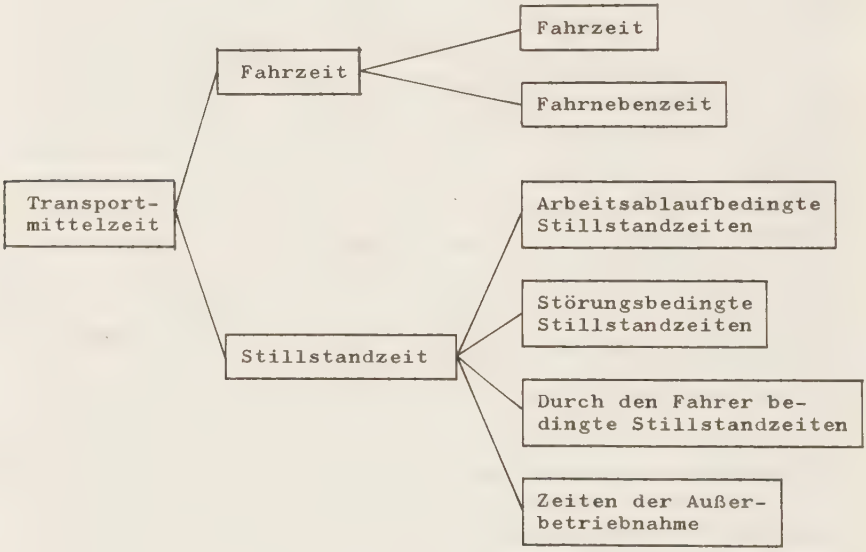


Abbildung 2

Unter Transportmittelzeit wird die Zeit verstanden, in der das Transportmittel dem Betrieb zur Verfügung steht. (Stunden pro Tag oder Tage pro Jahr o.ä.)

Als Fahrzeit wird diejenige Zeit bezeichnet, während der sich das Fördermittel in Bewegung befindet und zwar als Hauptzeit, wenn es in Ausübung der eigentlichen Beförderung mit der Förderlast

[1] In entsprechender Abänderung der Gliederung der Betriebsmittelzeit im Refa-Buch Band 1, a.a.O., S. 33.

zum Zielort fährt oder als Nebenzeit, wenn das Transportmittel zur Vorbereitung des Transportaktes in Leerfahrt zum Ladeort gefahren wird. Von Stillstandzeiten sprechen wir, wenn das Fördermittel ruht, gleichgültig ob das - vorhandene - Antriebsaggregat weiterläuft oder nicht.

Stillstandzeiten sind arbeitsablaufbedingt, wenn für das Transportmittel vorübergehend keine Ladung vorhanden ist, und wenn es be- oder entladen wird; sie sind störungsbedingt, wenn das Transportmittel Schaden erlitten hat; sie sind durch den Arbeiter bedingt, wenn dieser nicht am Arbeitsplatz erscheint, Pausen einlegt oder persönliche Bedürfnisse befriedigt. Letztlich gehören zu den Stillstandzeiten die Zeiten der Außerbetriebnahme, in denen das Fördermittel überholt wird oder vorübergehend aus dem Transportprozeß gezogen wurde, weil sein Einsatz nicht erforderlich ist.

Für die optimale Ergiebigkeit des Faktors Fördermittel bedeutet die Analyse der Transportmittelzeiten eine wesentliche Voraussetzung. "Somit ist ein sorgfältiges Studium der Zeiten des Betriebsmittels ein wichtiges methodisches Hilfsmittel wirtschaftlicher Betriebsgestaltung"[1].

33. Werkstoffe

Betrachtet man den Transport als eine Spielart der Produktion[2], also als die Kombination der Elementarfaktoren Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe[3], so mag im Bereich des Transportes gerade der letzte Begriff nicht recht in das System der produktiven Faktoren einfügbar erscheinen, denn unter Werkstoff muß im Transportwesen das Transportobjekt verstanden werden, an dem jedoch keine Veränderung, mithin keine Wertsteigerung vorgenommen wird.

---

[1] Das Refa-Buch, Band 1, a.a.O., S. 33.

[2] Predöhl, A.; Verkehr, HdSW, Band 11, S. 103.

[3] Im Gegensatz dazu Gutenberg, der den Begriff Produktion nur auf Sachleistungs- insbesondere Fertigungsbetriebe bezieht, a.a.O., S. 3.

Diese Wertsteigerung kann nach allgemeiner Auffassung in der industriellen Erzeugung nur durch einen Be- oder Verarbeitungsprozeß erfolgen, während der Transport als "unproduktiv" bezeichnet wird. Nun drückt sich der Wert eines Gutes neben anderen Ponderabilien auch in der Nutzungsvorstellung des Wertenden aus, der dem augenblicklichen Standort des Produktes ein bestimmtes Gewicht zumißt und geneigt sein wird, bei einer späteren, günstigeren Lage von der Wertsteigerung zu sprechen. Mit anderen Worten, ein Gut verändert während seines Transportes von A nach B seinen Wert analog dem Bearbeitungsprozeß. Erfolgt der Transport in Richtung (Richtung hier in abstrakter Form gemeint) der Fertigung, können wir von einer Wertsteigerung sprechen. Verläuft der Transport in entgegengesetzter Richtung, bewirkt er eine Wertminderung. Wie ein Werkstück in den verschiedenen Fertigungsstufen, erfährt also auch ein Transportgut durch den Transportvollzug eine Bearbeitung, womit die Gleichsetzung von Werkstoff und Transportobjekt bewiesen wäre.

Für die Ergiebigkeit des Werkstoffeinsatzes ist relevant, was bereits für die Faktoren menschlicher Arbeitsleistungen, hier Transportpersonal und Betriebsmittel, hier Transportmittel, gesagt wurde: es gelten in analoger Anwendung die Bedingungen, die besonders GUTENBERG[1] anführt.

Auf drei Charakteristika sei jedoch besonders hingewiesen. Erstens erfordert ein rationeller Transport eine bestimmte Anordnung, Abmessung oder Verpackung der Transportobjekte. Die Palettierung von Fördergut zum Beispiel entstammt diesem Bedürfnis, wie auch die Komprimierung oder Verflüssigung von Gasen zur Beförderung großer Mengen in kleinen Behältern oder durch Rohrleitungen und ebenso die große Zahl von Transporthilfsmitteln, deren Zweck in der Bildung typisierter Ladeeinheiten besteht. Zweitens entscheidet über die Wirtschaftlichkeit eines Transportes die Anzahl der zu befördernden einzelnen Güter. Je mehr Fördergüter zur gleichen Zeit transportiert werden können, desto rationeller gestaltet sich

[1] S. Gutenberg, E.; a.a.O., S. 94 ff.

die Förderung. Letztlich übt die Ausnutzung der Werkstoff-, d.h. Transportgutzeiten, einen großen Einfluß auf die Produktivität des Transportes aus. Die Transportgutzeiten lassen sich wie folgt einteilen[1]:

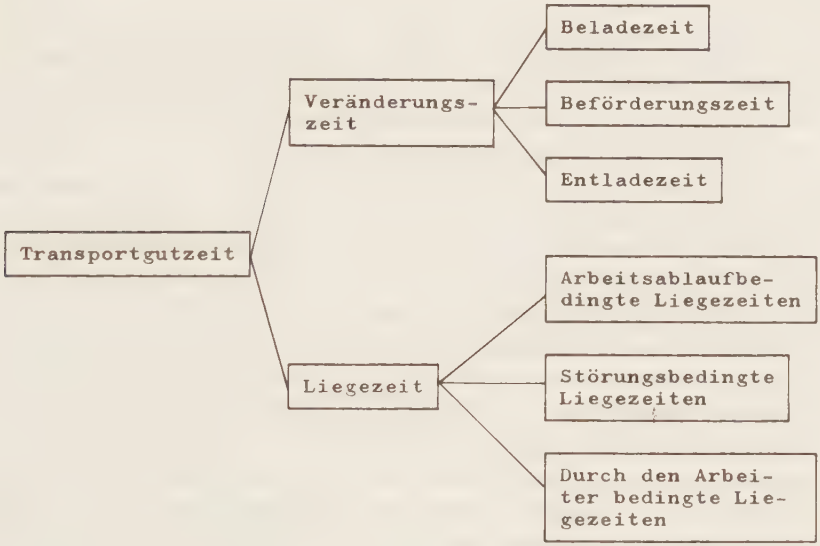


Abbildung 3

Wird der Transport unmittelbar zum Zwecke des Gelderwerbs ausgeübt, etwa in der Art, daß die zu fahrende Strecke auf der Basis der Zeit vergütet wird, sind die Veränderungszeiten zu maximieren, die Liegezeiten zu minimieren. Das innerbetriebliche Transportwesen als Hilfsfunktion eines großen Ganzen, nämlich der Produktion, muß ein Minimum sowohl der Liegezeiten als auch der Veränderungszeiten anstreben. Es hat sich gezeigt, daß gerade die Liegezeiten den größten Rationalisierungseffekt boten, da ihr Einfluß auf die Höhe der Fertigungsgemeinkosten in der Regel unterschätzt wurde[2].

---

[1] In entsprechender Abwandlung der Gliederung der Werkstoffzeit im Refa-Buch, Band 1, a.a.O., S. 36.

[2] Vgl. die entsprechenden Hinweise bei Immer, J.R.; a.a.O.

Je besser sich die Bildung zweckmäßiger Ladeeinheiten und die zahlenmäßige Zusammenstellung der zu befördernden Transportobjekte sowie die Minimierung der Förderzeiten erreichen läßt, desto mehr nähert sich der Werkstoff, d.h. Transportguteinsatz seinem transporttechnischen Optimum.

Die Kombination der drei Elementarfaktoren menschliche Arbeitsleistung, Werkstoffe und Betriebsmittel ergibt das Erzeugnis, hier die Transportleistung, die darin besteht, zur Ermöglichung der Produktion ein bestimmtes Objekt von einem Ort zu einem anderen zu den niedrigst möglichen Kosten zu befördern. Das Postulat der niedrigst möglichen Kosten bedeutet, daß nicht irgendeine Kombination zu wählen ist, sondern diejenige, die bei einem fixierten Kostenbetrag den größten Ertrag ermöglicht. Dieser Ertrag, die Transportleistung, gemessen etwa in Tonnenmeter oder Menge pro Zeiteinheit ist keine direkte Funktion der Faktoreinsatzmengen. Denn die Leistung eines Betriebsmittels zum Beispiel hängt u.a. ab von der aufgewendeten Menge Kraftstoff. Diese Abhängigkeit bezeichnet GUTENBERG als Verbrauchsfunktion[1]. Auf dem Gebiet der Fördermittel lassen sich solche Verbrauchsfunktionen exakt ermitteln. In der Regel werden von den Herstellern der Transportmittel entsprechende Diagramme über die Abhängigkeit des Kraftstoff- bzw. Stromverbrauchs von der Leistung (Geschwindigkeit, Tragfähigkeit, Steigefähigkeit etc.) angegeben.

4. Transportobjekte

40. Allgemeines zum Begriff des Transportobjektes

Wie wir gezeigt haben, wird unter innerbetrieblichem Transport mitunter nur die Materialbewegung behandelt. Dieses Vorgehen scheint insofern berechtigt zu sein, als in der betrieblichen Praxis - besonders in der industriellen - die Bewegungsvorgänge des Materials den größten Raum einnehmen. Andererseits wird damit die Bedeutung des Personen- und Nachrichtenverkehrs als Ko-

[1] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 220.

stenverursachungsfaktor verkannt oder abgestritten. Auch ist das gesamte Transportwesen des Betriebes derart komplexer Natur, daß die Lösung von Teilaufgaben z.B. der Güterbewegung ohne die gleichzeitige Bewältigung des Nachrichten- und Personentransportproblems immer ein Torso bleiben muß. Wenn auch die betriebliche Praxis in einzelnen Fällen dem entgegenhalten könnte, die Materialbewegung habe ein Primat und andere Transportprobleme seien nicht existent, so muß doch eine theoretische Behandlung des Transportwesens alle Komponenten einbeziehen.

41. Nachrichten

Wie ILLETSCHKO[1] berichtet, hat neben dem "materials handling" auch ein "information handling" wissenschaftlich Raum gewonnen. Dies ist besonders auf die Anforderungen der Automation zurückzuführen, bei der die Kommunikation, d.h. "die Übermittlung und Entgegennahme von Mitteilungen jeder Art (Information, Befehl usw.) durch Media aller Art (Sprache, Schrift, Telefon, Telegraph, Kino, Signalgeräte) und Symbole aller Art (Wörter, Zeichen usw.) nicht nur zwischen Lebewesen, sondern auch zwischen Maschinen"[2] eine tragende Rolle spielt. Der innerbetriebliche Nachrichtentransport umfaßt also die Bewegungsvorgänge aller Nachrichten und zwar:

1. in mündlicher Form
   11. durch telephonische Übermittlung
   12. durch drahtlose Übermittlung (Sprechfunk, Fernsehen)

2. in schriftlicher Form
   21. durch direkte Übermittlung
      211. durch Telegraph
      212. durch Fernsehen
      213. durch Signalgeräte
      214. durch Fernschreiber
   22. durch indirekte Übermittlung in Form von Schriftgut

[1] Illetschko; a.a.O., S. 9.

[2] Schachtschabel, Hans G.; Automation in Wirtschaft und Gesellschaft, Hamburg 1961, S. 18.

221. durch den Mensch als Transportträger (Boten)

222. durch maschinelle Einrichtungen (Rohrpost, Förderbänder)

3. in akustischer und optischer Form
durch entsprechende Signalgeräte

42. Personen

Ex definitione beinhaltet der Begriff Innentransport a l l e Bewegungsvorgänge. In diesem Sinne bedarf der Transport nicht des Vorhandenseins bestimmter Fördermittel oder -einrichtungen[1]. Eine Transportaufgabe erwächst dem Betrieb auch dann, wenn er Überlegungen über die Lage der Kantine, des Sanitätsraumes oder über die Führung von Besuchergruppen durch die Fertigungsstätten anstellt. Der sich selbst bewegende Mensch muß also als Objekt der Transportüberlegungen gesehen werden. Daneben steht natürlich die innerbetriebliche Beförderung von Personen durch Transportmittel. Sie ist bereits das Ergebnis transportwirtschaftlicher Überlegung: Statt die Bewegung durch den Menschen selbst ausführen zu lassen, wird die Transportfunktion auf ein Fördermittel übertragen. Alle Maßnahmen zur Vorbereitung, Gestaltung, Rationalisierung oder Überwachung des Transportwesens müssen sich demnach auf die Beförderung von Personen erstrecken. Diese Erkenntnis ist nicht neu. So setzt sich z.B. Henry FORD mit dem Personentransportproblem auseinander: "Man erspare zwölftausend Angestellten täglich zehn Schritte, und man hat eine Weg- und Kraftersparnis von 80 Kilometern", oder "kein Arbeiter hat irgendetwas zu schleppen oder zu heben"[2].

Auch die Bewegungs- und Zeitstudien von F.B. GILBRETH und F.W. TAYLOR dienten der Verkürzung des Bewegungsablaufes bei der Arbeitsverrichtung und müssen daher in diesem Zusammenhang genannt werden.

---

[1] Im Gegensatz dazu RKW Veröffentlichung Nr. 10. Die gleislose Flurförderung. Teil I, Berlin 1929, S. 11. Hier wird Transport streng technologisch gesehen und seine Aufgaben verstanden als 1. Aufladen der Güter auf Transportmittel, 2. Bewegung der Güter auf dem Fördermittel über den Förderweg, 2. Abladen der Güter.

[2] Henry Ford; Mein Leben und Werk, 19. Aufl., Leipzig o.J., S. 89 und 97.

43. Güter

Die Bewältigung des innerbetrieblichen Sachmitteltransportproblems ist eine unerläßliche Voraussetzung für eine rationelle Gestaltung des Produktionsprozesses. Die industrielle Erzeugung von Gütern bedarf einer Vielzahl von Materialien, die in einer bestimmten Menge zu einer bestimmten Zeit am Produktionsort zur Verfügung stehen müssen. Den Sachmittelstrom bezeichnet man in der Literatur auch als Materialfluß.

Der Materialfluß ist die Verkettung aller Vorgänge beim Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von stofflichen Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Dazu gehören im einzelnen: Bearbeiten, Handhaben, Transportieren, Prüfen, die Aufenthalte und die Lagerungen[1].

Der Materialfluß ist lediglich ein Teil des innerbetrieblichen Sachmittelstromes. Nicht nur Werkstoffe, sondern auch die Betriebsmittel müssen als Gegenstand transportwirtschaftlicher Überlegungen angesehen werden. Man betriebe eine schlechte Standortplanung, wollte man zum Beispiel maschinelle Anlagen - auch bei optimaler Gestaltung des Materialflusses - so anordnen, daß ein Auswechseln im nachhinein undurchführbar ist. Da Maschinen nicht nur dem materiellen Verschleiß unterliegen, sondern auch einer plötzlichen, durch den technischen Fortschritt bedingten Veralterung ausgesetzt sein können, muß der Betrieb in seiner Anlage so ausgerichtet sein, daß jederzeit die Möglichkeit besteht, größere Transporte durch die einzelnen Fertigungsstätten durchzuführen, ohne daß erhebliche Produktionsstörungen verursacht werden.

Die Transportobjekte des innerbetrieblichen Materialtransportes kann man nach den verschiedensten Gesichtspunkten einteilen. Bei der Wahl des Transportmittels ist u.a. entscheidend, ob Stück-, Schutt- oder Fließgut, ob Leicht- oder Schwergut befördert werden soll; bei der Wahl des Transportweges wird man darauf achten müs-

---

[1] VDI/AWF-Handbuch Förderwesen: Materialfluß-Untersuchungen, 1959, S. 2.

sen, ob die Fracht leicht brennbar oder explosiv ist.

44. Rangordnung der drei Arten von Transportobjekten

Eine langfristige Lösung des Raum-Zeit-Problems im Industriebetrieb muß notwendigerweise alle drei Transportobjekte - Personen, Güter und Nachrichten - als Variable in die Untersuchung einbeziehen. Kurzfristig mag sich eine Transportaufgabe nur auf ein Objekt oder Teile davon beziehen. Die Organisation des Rückflusses von unregelmäßig anfallendem Ausschuß nach Verweigerung der Abnahme durch die Inspektion oder die vorübergehende Gestaltung von Umleitungen der Werkstraße, die durch Bauvorhaben im Betrieb erforderlich sind, sollen dafür als Beispiel genannt werden. Über die Rangfolge der einzelnen Transportobjekte entscheidet der akute Fall. Sie ist zum einen abhängig von der Art des Betriebes; kapitalintensive Betriebe befassen sich hauptsächlich mit dem Materialfluß, während arbeitsintensive Betriebe ihr Augenmerk im besonderen Maße auf die Vermeidung unnötiger "Laufereien" der Beschäftigten richten muß. Zum anderen ist die Rangfolge abhängig von den Kosten der Transportobjekte. Eine Unternehmung, die ihr Förderwesen zu rationalisieren gedenkt, wird bei dem Transportobjekt ansetzen, daß die größten Transportkosten verursacht. Letztlich entscheidet auch die augenblickliche Situation über die Priorität der Transportobjekte. Entsteht ein durch mangelhafte Gestaltung des Transportwesens bedingter Engpaß, so müssen sich die für das Förderwesen Verantwortlichen vordringlich um dessen Beseitigung kümmern.

45. Bedeutung der Transportobjekte für eine Theorie des Transportes

Wie bereits in der Einleitung dargelegt wurde, bemühen wir uns um eine Übertragung von produktionstheoretischen Erkenntnissen auf den Transportbereich. Theoretisches Denken ist immer und notwendig Denken am Modell[1]. In diesem Sinne kann eine grund-

[1] Schneider, E.; Einführung in die Wirtschaftstheorie, IV. Teil, 1. Band, Tübingen 1962, S. 1.

legende Behandlung von Transportproblemen unmöglich auf die zahlreichen Komponenten der einzelnen Förderobjekte eingehen. Jedes Transportobjekt wirft bei der Gestaltung des Transportwesens eine durch seine Natur bedingte Vielzahl von spezifischen Fragen auf. Wie soll der Abfallstrom gelenkt werden? Welches ist die Transportweg-minimale Lage der Materialausgabestelle im Betrieb? Soll der Transport von Zubehörteilen zu den einzelnen Maschinen durch Flurfördermittel oder Stetigförderer durchgeführt werden? Empfiehlt sich die Anschaffung von Paletten? Das sind Fragen, die nur aus der genauen Kenntnis des konkreten Falles zu beantworten sind. Es hieße den Rahmen dieser Arbeit sprengen, wollte man die Spezifiken eines jeden Transportobjektes in einer theoretischen Analyse berücksichtigen. Es liegt uns vielmehr daran, das alle Objekte Verbindende herauszustellen und zu behandeln; die Zielfunktion, eine bestimmte Menge eines Fördergutes in möglichst kurzer Zeit bzw. unter Benutzung einer minimalen Weglänge an einen bestimmten Ort zu befördern, ist allen Transportobjekten eigen. Wir können daher die einzelnen Transportobjekte Personen, Güter und Nachrichten generalisieren und uns im folgenden auf die umfassenden Bezeichnungen Transportobjekt oder Transportgut beschränken.

5. Aufgaben des Innentransportes

Obwohl der RKW-Auslandsdienst bereits im Jahre 1951 (und die amerikanische Literatur noch früher[1]) darauf hingewiesen hat, daß in vielen Fabriken für jede Tonne des erzeugten Endproduktes 50 Tonnen Material gehoben, transportiert, verladen, entladen, umgeladen usw. werden[2], wurden die Bemühungen um eine rationelle Gestaltung des Innentransportes erst in den letzten Jahren intensiviert. HASENACK weist darauf hin, daß gerade die stärkere Betonung der industriebetrieblichen Einzelfunktionen als wesentlicher Gestaltungs- und Entwicklungsfaktor künftiger

---

[1] S. z.B. Materials Handling in American Industry; Management Review, März 1950, S. 144 ff. oder Beebe, W.L.; The Handling and Transport of Materials in the Modern Factory, Mechanical Handling, Mai 1947, S. 255 ff.

[2] RKW-Auslandsdienst Heft 3, Innerbetriebliches Förderwesen, München 1951, S. 9.

Industriebetriebslehre angesehen werden muß[1]. In das HASENACKsche Schema[2] der Funktion (Fundamentalfunktionen, Ablauffunktionen, Begleitfunktion) eingeordnet, hätte der innerbetriebliche Transport - wenn auch dort nicht angeführt - seine Stellung neben Einkauf, Lagerung, Materialwesen, Anlagenwirtschaft, Fertigung, Werbung, Absatz innerhalb der Ablauffunktionen.

Auf die Bedeutung der getrennten Behandlung von einzelnen Funktionen des Betriebsprozesses weist auch v. KORTZFLEISCH hin. Er trifft eine Horizontaleinteilung des Betriebsprozesses in provitive Elemente (Beschaffen, Lagern, Transportieren, Bereitstellen) und operative Elemente (Gewinnen, Trennen, Verändern, Zusammenfügen und Verkaufen[3]). Der Transport wird hier zu einem versorgenden Element. "Je mehr die provitiven Elemente auf die operativen abgestimmt sind, umso erfolgreicher d.h. wirtschaftlicher ist der Produktionsprozeß"[4]. Die rationelle Gestaltung des innerbetrieblichen Transportwesens ist eine der unerläßlichen Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Erzeugung überhaupt. Sobald der Innentransport einen Engpaß darstellt, etwa in der Form, daß durch Transportverzögerungen eine Maschine zum Leerlaufen oder Stillstand kommt, verlängern sich die Durchlaufzeiten des Materials, die Produktionsgeschwindigkeit sinkt und mit ihr der Ausnutzungsgrad der Kapazität. Andererseits kann eine große Reserve an Transportkapazität, zum Beispiel durch zu hohe, dem Wirtschaftlichkeitsprinzip entgegengerichtete Investitionen im Transportbereich, die Produktion wesentlich verteuern.

Aufgabe des innerbetrieblichen Transportes ist also nicht allein die Erbringung von Förderleistungen, d.h. die reine Ortsverän-

---

[1] Hasenack, W.; Industriebetriebslehre, Gablers Wirtschaftslexikon, Wiesbaden 1956.

[2] Hasenack, W.; Betriebswirtschaftliche Funktionslehre, HdB, 3. Aufl., S. 2098.

[3] v. Kortzfleisch, G.; Planung und Steuerung des Materialflusses in Fertigungsbetrieben, Beiträge der VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen im Programm der VDI Hauptversammlung, Hamburg 1960, S. 5.

[4] ebenda.

derung von Transportobjekten, sondern die Beförderung der Transportgüter zu den niedrigst möglichen Kosten durch Anwendung geeigneter Methoden und Fördermittel[1].

6. Die Stellung des Innentransportes innerhalb der Gesamtheit der betrieblichen Leistungserstellung

Ohne den innerbetrieblichen Transport als integrierten Bestandteil ist die industrielle Produktion nicht denkbar. Selbst wenn ein bestimmtes Erzeugnis von der Entstehung bis zur Vollendung seine Lage nicht verändert, besteht eine Reihe von Transportvorgängen. Doch ist das Förderwesen niemals Selbstzweck; es muß immer in Verbindung zur eigentlichen Erzeugung gesehen werden. "Die Transportfunktion ist nur Hilfsfunktion, die sich dem Rhythmus der Produktion und der hierbei auftretenden Transportnotwendigkeit anpassen muß"[2]. Daher muß das gesamte innerbetriebliche Transportwesen notwendigerweise immer vom Standpunkt der Erzeugung gesehen werden. Weil der Transport ein Glied der Produktion darstellt, kann dieses eine Glied nicht vergrößert oder verkürzt werden, ohne die Länge der gesamten Kette zu verändern. Mit anderen Worten: stellt das innerbetriebliche Transportwesen den Minimumbereich dar, so ist die Möglichkeit einer optimalen Ausnutzung der Produktionskapazität nicht gegeben. Diese Verbindung von Fertigung und Transport stellt einen der beiden Gründe für eine integrierte Behandlung des Transportproblems dar. Der andere besteht in der oft engen organischen Verknüpfung von Förderung und Erzeugung. Das gilt im besonderen Maße für den innerbetrieblichen Gütertransport, wo die Grenze zum eigentlichen Bearbeitungsvorgang oftmals fließend - wenn überhaupt gegeben - ist. Beim Auswalzen von Stahlblech wird der Stahlblock in mehreren "Stichen" durch die Duowalze geführt. Gilt die jeweilige - kurze - Zeit für das Heranführen des Walzgutes an die Arbeitswalzen als Fertigungszeit

---

[1] S.a. Industrial Engineering Handbook, herausg. von H.B. Maynard, New York, Toronto, London 1956, S. 2 • 103.

[2] Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2. Band, a.a.O., S. 278.

oder Transportzeit? Oder, um ein anderes Beispiel zu nennen: Aluminiumbarren benötigen für das Walzen eine bestimmte Temperatur. Diese erhalten sie, indem sie auf einem Förderband durch einen Ofen gefahren werden, der sich zwischen dem Barrenlager und der Walze befindet. Das Aluminium wird also gleichermaßen bearbeitet und transportiert. Beide Vorgänge sind von gleicher Dauer.

So kommt auch ILLETSCHKO zu dem Ergebnis, daß "bei den innerbetrieblichen Transportvorgängen der Übergang von Hantierungen zu der Bearbeitung im Rahmen des Fertigungsprozesses überaus fließend" ist[1]. KALVERAM spricht in diesem Zusammenhang von der dynamischen Lagerung[2].

Der Forderung, den Transport immer im Rahmen eines Ganzen - nämlich der Produktion - zu sehen, wird in der Praxis Genüge getan, allerdings weniger aus den beiden oben genannten Gründen, sondern durch die Tatsache, daß eine Behandlung des innerbetrieblichen Transportproblems zum Teil überhaupt unterbleibt. Dies liegt an der landläufigen Anschauung, daß der Transport den Wert eines Erzeugnisses im statu nascendi nicht erhöht. "Im Gegensatz zu vielen anderen in einer Fabrik zu beobachtenden Operationen erhöht die Materialbewegung die Kosten des Produktes ohne seinen Wert zu verändern"[3]. Der Meinung ist auch MELLEROWICZ[4], der den Innentransport als unproduktive Leistung bezeichnet. Da der innerbetriebliche Transport ein wesentlicher Bestandteil der Produktion ist, muß dieser Anschauung widersprochen werden. Zwar verteuert der Transport das Erzeugnis, auch steht die Transportfunktion immer in einem dienenden Verhält-

---

[1] Illetschko, L.; a.a.O., S. 30.

[2] Kalveram, W.; Industriebetriebslehre, 7. Aufl., Wiesbaden 1960, S. 196.

[3] Lockeyer, K.G.; Factory Management, London 1962, S. 73.

[4] Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, Band 2, a.a.O., S. 488: "Dabei ist der Innentransport im Prinzip unproduktive Leistung, da der Transport eines Werkstückes von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz zwar seine Kosten nicht dagegen seinen Wert erhöht".

nis zur Fertigung, da jedoch "eine Produktion, die auf einen Punkt zusammengeballt ist, was jeglichen innerbetrieblichen Transport überflüssig machen würde, praktisch nicht durchführbar"[1] ist, kann der Innentransport auch nicht als unproduktive Leistung angesehen werden, wenn auch die Quantifizierung der Förderleistung einige Schwierigkeiten aufwirft.

Die Tatsache, daß der Innentransport nur einen Teilbereich der Produktion darstellt und nur aus der Verbindung mit ihr verstanden werden will darf jedoch nicht dazu verführen, den Transport der Erzeugung zu subsummieren, etwa mit dem Ergebnis, Transportkosten unbesehen als Fertigungsgemeinkosten zu behandeln. Der innerbetriebliche Transport muß auch als betriebswirtschaftliche Einzelfunktion zum Forschungsobjekt einer isolierten Betrachtungsweise werden, denn nur eine genaue Kenntnis der provitiven Elemente vermag ihren reibungslosen koordinierten Ablauf innerhalb des Produktionsvollzuges zu erwirken.

D r i t t e s K a p i t e l

Planung, Organisation und Kontrolle im innerbetrieblichen Transportwesen

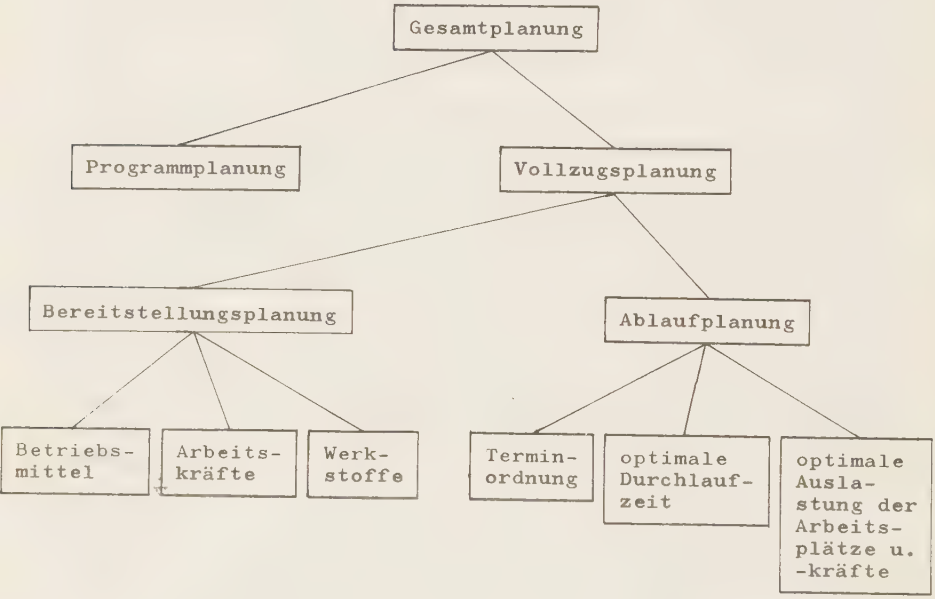
1. Planung

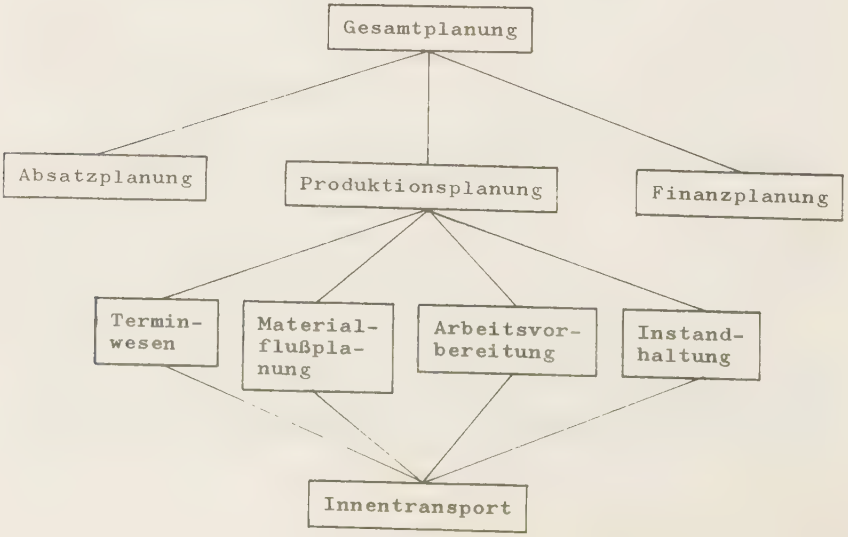
10. Die Stellung des Förderwesens in der Gesamtplanung

Die Kombination der produktiven Elementarfaktoren vollzieht sich nicht von selbst, sondern bedarf des dispositiven Tätigwerdens des Menschen. Erst durch die Einschaltung des ordnenden und anordnenden Subjektes wird die Objekt-Objekt-Beziehung rein technologischer Vorgänge zur gewollten wirtschaftlichen Produktion. GUTENBERG bezeichnet den Träger der dispositiven Funktion - die Geschäfts- und Betriebsleitung - als den vierten Produktivfak-

[1] Voitl, W.; Der innerbetriebliche Transport, Wien 1958, S. 26.

Stellung des innerbetrieblichen
Transportes in der Gesamtplanung





tor, aus dem die beiden derivativen Faktoren Planung und Organisation abgeleitet werden[1]. Während die Planung "alle Erwägungen über die anzustrebenden unternehmerischen Ziele und auch die Tätigkeiten, wie diese Ziele erreicht werden können"[2] umfaßt, ist die Organisation "die Bedingung dafür, daß das Geplante betriebliche Wirklichkeit werde"[3]. In diesem Sinne ist Planung "Ausdruck der auf die Zukunft gerichteten Tätigkeit des Unternehmers"[4]. Die Planung findet ihr konkretes Resultat in dem Plan. Ein Plan ist die schriftliche Aufzeichnung künftigen betrieblichen Geschehens. Da die wirtschaftliche Entwicklung niemals endgültig vorhergesehen werden kann, unterliegen die in den Plan eingehenden Daten stets einer Unsicherheit, die mit der Länge der Planungsperiode wächst. Die Betriebswirtschaftslehre kennt neben dem Gesamtplan der Unternehmung eine Reihe von Teilplänen, die für einen bestimmten Bereich gelten. Als die vier "Grundpläne" seien hier genannt die Beschaffungsplanung, die Produktionsplanung, die Absatzplanung und die Finanzplanung, die sich wiederum jeweils in mehrere Teilpläne aufspalten lassen. Zwischen den einzelnen Plänen besteht notwendigerweise eine Interdependenz, die letztlich darauf beruht, daß einer der Grundpläne den Ausgangsplan, den sogenannten Primärplan[5] bildet.

Im Zusammenhang mit dem innerbetrieblichen Transportwesen interessiert besonders der Produktionsplan, von dem die Planung des Innentransportes einen Teilplan darstellt. Unter Produktions-

---

[1] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 102 und 103.

[2] Hax, K.; Planung und Organisation als Instrument der Unternehmungsführung. ZfhF 1959, S. 606.

[3] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 114.

[4] Lohmann, M.; Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 3. Aufl., Tübingen 1959, S. 225.

[5] Den Begriff Primärplan findet man z.B. bei Lohmann, M.; Der Wirtschaftsplan des Betriebes und der Unternehmung, Berlin - Leipzig - Wien 1928, S. 94.

planung versteht ELLINGER[1] "die Planung der zukünftigen Produktion, das heißt ein auf die Zukunft gerichtetes ordnendes Denken, bei dem unter verschiedenen Möglichkeiten der Produktionsgestaltung Entscheidungen zu treffen sind".

Richtet sich innerhalb der Erzeugungsplanung das Kalkulieren künftigen Geschehens auf die Art, Menge und den Zeitraum der Leistungserstellung spricht GUTENBERG von der Programmplanung. Die Planung der Durchführung der eigentlichen Fertigung bezeichnet er als Vollzugsplanung. Die Vollzugsplanung wiederum wird untergliedert in 1. die Planung der Bereitstellung der Elementarfaktoren "nach Menge und Beschaffenheit zur rechten Zeit und am verlangten Ort", d.h. die Bereitstellungsplanung und 2. in die Planung des Fertigungsflusses, d.h. die Ablaufplanung[2].

Ist der innerbetriebliche Transport notwendiger - wenn auch nicht erwünschter - Bestandteil der Produktion, so muß auch die Planung des Transportwesens Teil der Produktionsplanung, und zwar der Vollzugsplanung sein. Beide Pläne sind stark interdependent. Obwohl der Erzeugungsplan den Primärplan darstellen sollte - was in der Regel in praxi auch der Fall ist - so ergibt sich bei bestimmten Erzeugungsverfahren doch die Notwendigkeit, den Vollzugsplan den Erfordernissen des Innentransportes anzupassen. GUTENBERG spricht in ähnlichem Zusammenhang von dem Ausgleichsgesetz der Planung[3]: Bildet ein Teilbereich den Minimumsektor, hier das Förderwesen, so "reguliert kurzfristig dieser Engpaßbereich die Gesamtplanung auf sich ein"[4]. Es liegt auf der Hand, daß die Betriebsleitung langfristig gesehen danach trachten muß, den Engpaß zu beseitigen. Das ist das große Ziel der Transportplanung: den Transport auf lange Sicht so zu gestalten, daß er ständig, bei angemessenem Aufwand, in der Lage ist, den Anforderungen seitens der Erzeugung gerecht zu werden.

---

[1] Ellinger, Th.; Ablaufsplanung, Stuttgart 1959, S. 14.
[2] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 124 und 140.
[3] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 124.
[4] Gutenberg, E.; ebenda.

Wir schließen uns der Meinung MÜLLERs an, der feststellt: Obwohl der Transportdienst organisch in den Produktionsablauf eingeflochten sein soll, sind wir der Ansicht, daß er in organisatorischer Hinsicht von der Fertigung zu trennen ist"[1]. Hieraus läßt sich die Berechtigung eines separaten Transportplanes ableiten, wenn auch immer im Hinblick auf die eigentliche Erzeugung. Ein reibungsloser und anpassungsfähiger Ablauf des Transportgeschehens dient der besseren zeitlichen Ausnutzung der betrieblichen Kapazität und trägt damit zu einem höheren Ausstoß bei gleichen Produktionsmitteln bei. Die Schwierigkeit der innerbetrieblichen Transportplanung liegt in der engen Bindung an den Produktionsplan. Jede Änderung des Fertigungsprogramms und jede Schwankung des Produktionsvollzugs übt einen Einfluß auf die Gestaltung des Förderwesens aus. Der Innentransport muß daher in der Lage sein, sich stets den wechselnden Produktionsbedingungen anzupassen; aus diesem Grunde ist er immer und notwendigerweise kurzfristiger Natur bei retrograder Terminbestimmung: der Erzeugungstermin bildet den Ausgangspunkt für die Terminplanung im Transportbereich[2].

11. Anpassung von Transport und Erzeugung

Da der innerbetriebliche Transport einen reibungslosen Produktionsablauf zu gewährleisten hat, erhebt sich die Frage, in welchen Planungsgrenzen sich die Anpassung von Transport und Erzeugung vollziehen kann. Dieses Problem soll in abstrakter Form hier dargestellt werden. Als Modell wurde dabei der Abtransport der Erzeugnisse nach erfolgter Bearbeitung gewählt.

Stellt man die über einen Zeitablauf - etwa einen Tag - kumulierten geplanten Produktmengen in Form einer Produktionskurve $X_p(t)$ (z.B. Menge pro Zeiteinheit) dar, und die während dieses Zeitablaufes davon transportierbare Menge als $X_T(t)$, so ergeben sich

[1] Müller, K.; Das gleislose innerbetriebliche Transportwesen in der Industrie, Winterthur 1956, S. 14.

[2] Zu dem Begriff retrograde Terminplanung, s. Lücke, W.; Produktionsplanung, HdSW, 47. Lieferung.

bei einem kontinuierlichen Produktionsverlauf folgende 4 Möglichkeiten[1] des Verhaltens von Produktions- zu Transportkurve:

1. Fall: Produktionskurve und Transportkurve sind identisch $X_P(t) = X_T(t)$. Dies ist zum Beispiel bei einer Transferstraße gegeben. Produktionszeit und Förderzeit fallen zusammen. Fall 1 stellt gleichermaßen das Ideal eines Transportvollzuges dar.

2. Fall: Die Transportkurve OF verläuft in einem bestimmten Abstand parallel zur Produktionskurve. Die Förderung erfolgt kontinuierlich, es besteht jedoch ein time lag von O t_1, d.h. der Transportprozeß beginnt und endet später als der Produktionsprozeß. Sollten beide Prozesse gleichzeitig beginnen und enden, bleibt ein Teil der Tagesproduktion liegen, der am Anfang des nächsten Tages zu befördern ist. In diesem Falle zeigt die Transportkurve den gestrichelten Verlauf.

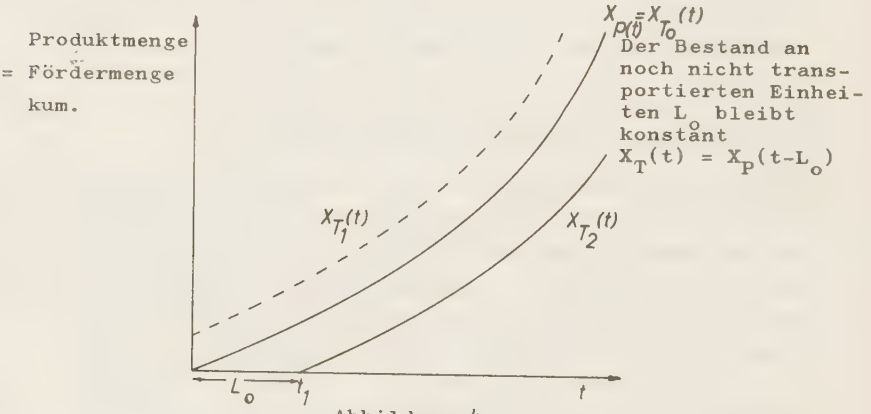


Abbildung 4

Als Beispiel wäre ein parallel zu den Fertigungsstellen laufendes Förderband zu nennen.

[1] In Anlehnung an die Darstellung der Anpassung von Absatz- und Produktionskurve bei W. Lücke, Produktionsplanung im HdSW, 47. Lieferung, S. 576.

3. Fall: Der Transport erfolgt intermittierend in regelmäßigen Abständen.

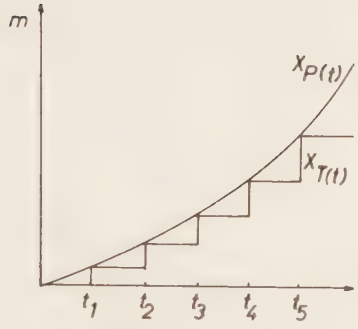


Abbildung 5 (Fall 3a)

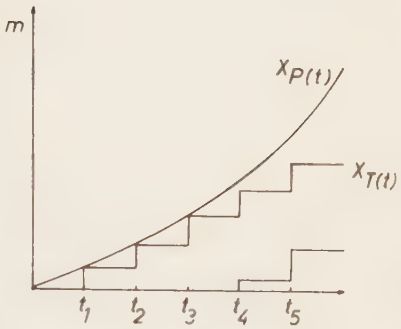
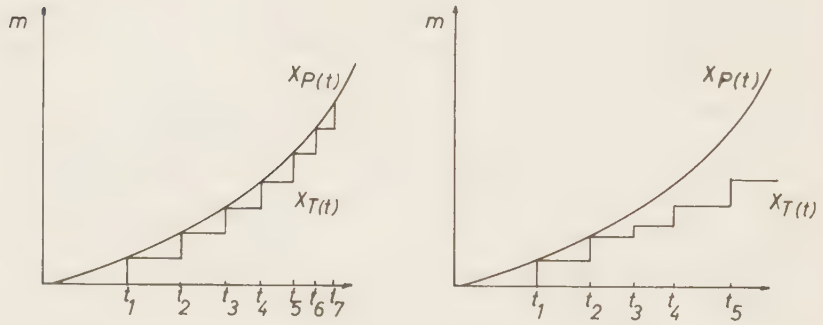


Abbildung 6 (Fall 3b)

Im Fall eines - wie oben gezeigten - gekrümmten Verlaufes der Produktionskurve muß die Förderleistung der Erzeugung quantitativ und intensitätsmäßig angepaßt werden, soll die zeitliche Gleichheit gewahrt bleiben (Fall 3a). Ist das jeweilige Fördermittel kapazitativ begrenzt, so laufen beide Kurven auseinander. Der Abstand der Anzahl der produzierten Einheiten zur Anzahl der beförderten Einheiten wächst mit zunehmendem Zeitablauf. Der Transport wird zum Engpaß (Fall 3b). Wie man im Fall 3b erkennt, entsteht dieser Engpaß im Zeitpunkt t_4. Ein Teil der produzierten Menge kann nicht befördert werden, weil die maximale Ladefähigkeit des Transportmittels erreicht ist. Trägt man die von Zeitpunkt zu Zeitpunkt wachsende liegengebliebene Menge über der Zeitachse ab, so kann man feststellen, an welchem Zeitpunkt sie die Kapazität des Fördermittels erreicht. Das ist im Beispiel bei t_5 der Fall. Hier ist die verbleibende Menge so groß, daß sie ein 2. Transportmittel voll auslastet. Der Einsatz eines neuen Fördermittels zum Zeitpunkt t_5 würde den Engpaß beseitigen.

4. Fall: Der Transport erfolgt intermittierend in unregelmäßigen Zeitabständen und zwar a. unter voller Ausnutzung einer begrenzten Kapazität. Das heißt: Das Fahrzeug soll den Produktionsort

immer dann anlaufen, wenn die Menge der produzierten Erzeugnisse dem Fassungsvermögen des Laderaumes entspricht.



Soll die zeitliche Gleichheit gewahrt bleiben, so muß die Anzahl der Einzeltransporte pro Zeiteinheit steigend erhöht werden, d.h. der Transport ist der Erzeugung zeitlich anzupassen. Der Fall 4b zeigt einen unharmonischen Ablauf des Transportvollzuges. Es variieren sowohl die jeweils beförderten Mengen als auch die Anzahl der Einzeltransporte pro Zeiteinheit. Es besteht ein time lag verbunden mit einer unterschiedlichen Anhäufung von Erzeugnismengen an den jeweiligen Fertigungsstellen.

Wie leicht zu erkennen ist, stellen nur die Fälle 3 und 4 den Planenden vor die Frage nach der Anpassungsform.

Im Fall 3 wird angenommen, daß die Erzeugung ein regelmäßiges Abholen erfordert[1]. Der ungünstige Fall 3b wird zum Fall 3a, wenn es gelingt, die Fördermittel quantitativ (z.B. durch größere oder mehr Transportmittel) oder intensitätsmäßig (z.B. durch Überbelastung der Fördermittel) der steigenden Produktion anzupassen, während der ebenfalls ungünstige Fall 4b durch quantitative und/oder zeitliche Anpassung zu Fall 4a werden kann.

[1] Das trifft z.B. dann zu, wenn die Produkte zunächst in Transportbehälter gefüllt werden.

Bis jetzt sind wir von einer kontinuierlichen Produktion ausgegangen, d.h. die Produktionskurve wurde als stetig verlaufend angenommen. Diese Annahme ist nur für einen Teil der betrieblichen Wirklichkeit gültig. Viele Betriebe produzieren diskontinuierlich; ihre über die Zeit kumulierten Produktionskurven haben etwa folgendes Aussehen:

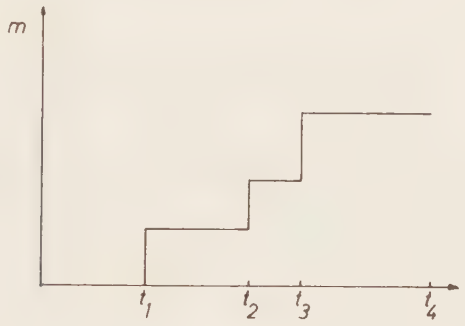


Abbildung 9

Der Ausstoß der produzierten Mengen erfolgt an den Zeitpunkten $t_1, t_2, \ldots, t_n$. Der Produktionszuwachs zum Zeitpunkt t allgemein ist für gewisse t immer > 0, d.h. $X_p(t)$ ist an den Stellen t_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) unstetig. Jedoch ist $X_p(t)$ rechtsstetig, denn es gilt

$$\lim_{\substack{h \to 0 \\ h > 0}} X_p\,(t+h) = X_p(t)$$

weil an jedem Punkt der Kurve Erzeugnisse vorhanden sind. Bezeichnet man

$$\lim_{\substack{h \to 0 \\ h > 0}} X_p\,(t+h) = X_p(t+0)$$

und

$$\lim_{\substack{h \to 0 \\ h < 0}} X_p\ (t+h) = X_p\ (t-0)$$

so ist der Produktionsausstoß zum beliebigen Zeitpunkt t

$$X_p\ (t+0) - X_p\ (t-0)$$

d.h. die sprunghafte Änderung der Produktionskurve erfolgt innerhalb eines infinitesimal kleinen Zeitraumes.

Aus dem kontinuierlichen und diskontinuierlichen Transportvollzug einerseits und dem stetigen und unstetigen Produktionsablauf andererseits kristallisieren sich in Verbindung mit den vorherigen Ausführungen folgende Kombinationen heraus:

I 1. kontinuierliche Produktion - kontinuierlicher Transport
I 2. kontinuierliche Produktion - diskontinuierlicher Transport
II 1. diskontinuierliche Produktion - kontinuierlicher Transport
II 2. diskontinuierliche Produktion - diskontinuierlicher Transport

Zu I

Der Fall I wurde bereits dargestellt. Die Ergebnisse seien noch einmal zusammengefaßt.

Fall I 1

a. Produktionskurve und Transportkurve sind identisch

$X_{To}(t) = X_p(t)$

b. Es bleibt immer eine bestimmte, gleiche Menge des Ausstoßes am Herstellungsort. Diese Menge ist mit L_o variierbar

$X_{T1}(t) = X_p(t-L_o)$

c. Die Transportleistung bleibt hinter der Produktion zurück

$X_{T2}(t) \leq X_{T1}(t)$

d. Die Transportkapazität, d.h. das mengenmäßige oder zeitliche Leistungsvermögen eines Transportmittels, gemessen z.B. als Tonnenkilometer oder Geschwindigkeit, ist größer als die Herstellkapazität. Die Transportleistung findet ihre Grenze in der Produktionsleistung, d.h. die effektive Transportkurve geht in die Produktionskurve über, während die Kapazität des Fördermittels von einem bestimmten Punkt t_a an nicht voll ausgelastet wird.

$$X_{T3}(t) \geq X_{T1}(t)$$

Graphisch lassen sich diese verschiedenen Variationen des Falles I 1 wie folgt darstellen, wobei es sich um vereinfachende Kurvenverläufe handelt:

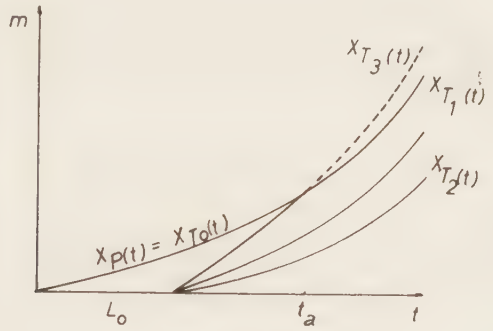


Abbildung 10

Der Transport wird zum Engpaß, wenn die liegengebliebene Menge die vorgesehene Höhe m überschreitet. Das ist bei einem kritischen Punkt $\tau = \inf. \{ t | X_p(t) - X_T(t) > m \}$ der Fall.

Fall I 2

Fall I 2 ist dadurch gekennzeichnet, daß die stetig erzeugten Güter diskontinuierlich abgeholt werden. Ein reibungsloser Transportablauf ist nur gewährleistet, wenn die in der Zeit von t_{i-1}

bis t_i produzierte Menge die maximale Transportleistung $X_T(t)$ nicht überschreitet, d.h.

$$\left\{X_P(t_i) - X_P(t_{i-1})\right\} \leq \left\{X_T(t_i+0) - X_T(t_i-0)\right\}$$

Abbildung 11 zeigt den kumulierten Produktionsverlauf $X_P(t)$ und die kumulierte Kurve der Transportmittelkapazität $X_T(t)$.

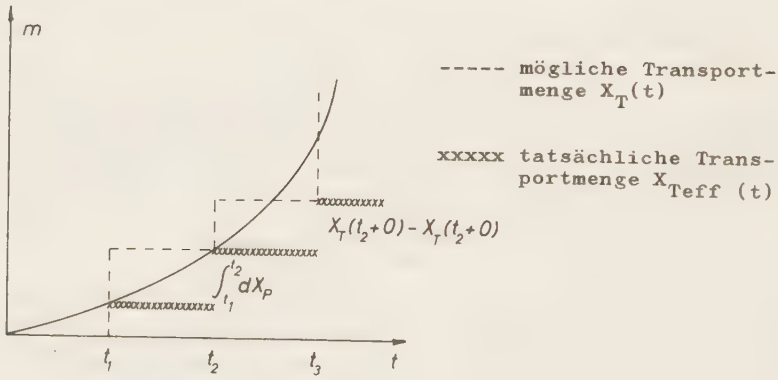


Abbildung 11

Wie ersichtlich, ist von t_1 bis t_2 das Fördermittel nicht ausgelastet, die gekreuzte Linie kennzeichnet die tatsächlich beförderte Menge $X_{Teff(1)}$. Zum Zeitpunkt t_2 ist die Produktmenge $\int_{t_1}^{t_2} d X_P$ angefallen, die auch abtransportiert werden kann.

Bei t_3 kann das Fördermittel $\left\{X_T(t_2+0) - X_T(t_2-0)\right\}$ transportieren. Die produzierte Menge ist jedoch größer. Ein Teil der Produktion bleibt liegen.

Wenn die Produktmenge $\left\{X_P(t_i) - X_P(t_{i-1})\right\}$ zuzüglich der bisher etwa liegengebliebenen Menge $\left\{X_P(t_{i-1}) - X_{Teff}(t_{i-1})\right\}$ abzüglich der maximalen Transportmenge $\left\{X_T(t_i+0) - X_T(t_i-0)\right\}$ für alle i kleiner ist als das Lagerlimit m, so ist der reibungslose Abtransport der Erzeugnisse gesichert. Also gilt die Bedingung:

$$\left\{X_P(t_i) - X_P(t_{i-1})\right\} + \left\{X_P(t_{i-1}) - X_{Teff}(t_{i-1})\right\} - \left\{X_T(t_i+0)\right\}$$

$$- X_T(t_i+0)\Big\} \leq m$$

Die kritische Transportmittelgröße τ , die angibt, wann zum ersten Mal das Lagerungslimit m nach Durchführung eines Transportvorganges überschritten wird, ist erreicht, wenn

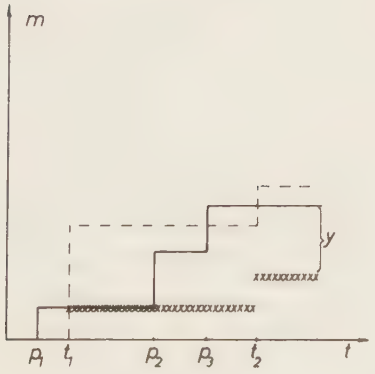
$$T = \min \left\{t_i \quad X_P(t_i) - X_P(t_{i-1})\right\} + \left\{X_P(t_{i-1}) - X_{Teff}(t_{i-1})\right\}$$

$$- \left\{X_T(t_i+0) - X_T(t_i-0)\right\} > m$$

Zu II

Ein kontinuierliches Transportverfahren ist nur dann sinnvoll, wenn auch der Produktionsprozeß stetig verläuft. Der Fall II 1 kann daher als wirklichkeitsfremd außer Betracht bleiben.

Der Fall II 2 läßt sich graphisch etwa in der Form darstellen:



t_1, t_2, t_3 ... Transportzeiten

p_1, p_2, p_3 ... Produktionszeiten

_____ $X_p(t)$ Produktionsmenge

---------- $X_T(t)$ maximal möglicher Abtransport bis t unabhängig von der Produktion

xxxxxxxxxxx tatsächlich beförderte Menge

$X_{Teff}(t)$

Abbildung 12

Während am Zeitpunkt t_1 das Fördermittel nicht ausgelastet ist,

reicht am Zeitpunkt t_2 seine Kapazität nicht mehr aus, die inzwischen erzeugten Produkte zu befördern. Die Förderleistung bleibt unter der Produktion zurück. Die Menge y bleibt liegen. Die kritische Größe τ bestimmt sich nach

$$\tau = \min \left\{ t_i \mid X_P(t_i) - X_P(t_{i-1}) \right\} + \left\{ X_P(t_{i-1}) - X_{Teff}(t_{i-1}) \right\}$$
$$> \left\{ X_T(t_i+0) - X_T(t_i-0) \right\} + m$$

Das heißt, der Betrieb muß eine Anpassung des Transportes an die Erzeugung an dem Zeitpunkt vornehmen, wo die erzeugte und unter Umständen bisher liegengebliebene Menge die Förderkapazität um das bestimmte Limit m übersteigt.

12. Der Transportplan als Bereitstellungsplan

In isolierter Betrachtung der Funktion Transport gliedert sich der Transportplan analog der Produktionsplanung in die Programmplanung und die Vollzugsplanung. Der Transportprogrammplan ist in jedem Falle ein derivativer Plan. Die in ihm eingehenden Daten sind von der Produktion fest vorgegeben, d.h. Art, Menge und Zeitraum der zu befördernden Güter stehen fest, eine Freizügigkeit in der Gestaltung des Transportprogramms besteht nicht. Daher kommt der Transportprogrammplanung nur eine geringe Bedeutung zu. Anders verhält es sich mit dem "wie" der Transportgestaltung. Hier ist es dem für das Förderwesen Verantwortlichen gegeben, in bestimmten Grenzen frei zu operieren. Die Vollzugsplanung verdient daher besondere Aufmerksamkeit. Wenden wir uns zunächst innerhalb der Vollzugsplanung dem Bereitstellungsplan zu und hier wiederum der Bereitstellung der Elementarfaktoren.

120. Die Auswahl der Fördermittel

Die Aufgabe der Bereitstellungsplanung von Fördermitteln besteht darin, für die Transportaufgabe geeignete Transportmittel in der benötigten Qualität und Quantität zur rechten Zeit bereitzustellen. Die Auswahl der Fördermittel richtet sich 1. nach dem

Erzeugungsverfahren, 2. nach der Beschaffenheit des Fördergutes, 3. nach der Beschaffenheit des Transportweges, 4. nach Wirtschaftlichkeitsüberlegungen. Während wir letzteren Punkt zum Inhalt eines gesonderten Kapitels machen wollen, seien die drei erstgenannten an dieser Stelle behandelt.

1200. ... nach Fertigungsverfahren

Unter dem Begriff Erzeugungsverfahren werden in der betriebswirtschaftlichen Fachwelt oft verschiedene Sachverhalte verstanden und die Gliederung der zahlreichen industriellen Herstellungsverfahren erfolgt nicht selten nach Gesichtspunkten, die den wirtschaftlichen und technischen Gegebenheiten nicht entsprechen. RIEBEL[1] gibt eine allgemeingültige Typologie, die aus sechs Gliederungspunkten besteht. Hinsichtlich des innerbetrieblichen Transportes interessiert die Einteilung der Produktionsverfahren nach dem Rhythmus des Erzeugungsablaufes[2]. RIEBEL unterscheidet: 1. diskontinuierliche Verfahren, bei denen sich der Produktionsprozeß stetig und ohne Pausen vollzieht. 2. Diskontinuierliche Verfahren, wenn "ein Arbeitsgang oder eine Folge von Arbeitsgängen aus Gründen, die im Verfahren liegen, regelmäßig unterbrochen" wird[3]. 3. Quasi-kontinuierliche Verfahren, bei denen der Werkstoff zwar gleichmäßig weitergeführt wird, die einzelnen Verarbeitungsstücke aber einander nicht ohne Unterbrechung folgen.

Die Praxis zeigt die Tendenz, dort, wo es möglich ist, von der intermittierenden Erzeugung zur fließenden überzugehen. Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist die zeitliche Synchronisation des Fertigungsablaufs mit dem Transportvollzug sowie die räumliche Verbindung der einzelnen Aggregate durch geeignete Fördermittel. Kontinuierliche Erzeugungsverfahren bedürfen also für einen wirtschaftlichen Einsatz stetig fördernde

---

[1] Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1963.

[2] Riebel, P.; a.a.O., S. 89 ff.

[3] ebenda.

Transportmittel wie Bandförderer, Elevatoren, Rutschen, Becherwerke, Rohrleitungen, ebenso auch die regelmäßige manuelle Weitergabe. Zwar ist "im Laufe der Zeit der Zwischentransport immer mehr mechanisiert worden, doch kann man noch heute alle Grade der Mechanisierung beobachten, vom rein manuellen 'Weitergeben' des Erzeugnisses über die Benutzung von Rutschen und ein Weiterschieben mit Hilfe von Rollbahnen bis zum motorisch angetriebenen kontinuierlich oder taktweise laufenden Fördersystem"[1]. Die Geschwindigkeit des Transportmittels ist dabei so zu wählen, daß bei der Anlieferung des Werkstückes wie auch beim Abtransport keine Wartezeiten oder Stauungen entstehen. Der Produktionsprozeß kann so gestaltet werden, daß die Werkstücke zum Zwecke der Bearbeitung vom Fördermittel heruntergenommen werden oder aber auf dem Transportmittel bearbeitet werden. Den letzteren Sachverhalt kennzeichnet das Montagefließband. Den transportwirtschaftlichen Idealfall stellt ein Fördersystem dar, bei dem der Fertigungsakt mit dem Transportvollzug räumlich und zeitlich zusammenfällt[2].

Die Zeitdauer eines Arbeitsablaufes ist gleich der Summe der Zeiten der einzelnen Arbeitsstufen i von 1-n für die Bearbeitung und den dazwischen liegenden Transportzeiten und Wartezeiten[3] $t_G = \sum_{i=1}^{n} t_{Bi} + \sum_{i=1}^{n} t_{Ti} + \sum_{i=1}^{n} t_{Wi}$ (Gesamtzeit = Bearbeitungszeit + Transportzeit + Wartezeit). In dem angeführten Idealfall würde sich diese Formel auf $t_G = \sum_{i=1}^{n} t_{Bi}$ reduzieren.

Das Zusammenfallen von Transport- und Fertigungsvorgang kann nur in seltenen Fällen verwirklicht werden, so z.B. bei chemischen und physikalischen Prozessen wie Färben, Trocknen, Galvanisieren. Um aber die räumliche Verbindung zweier Aggregate

---

[1] Riebel, P.; a.a.O., S. 156.

[2] S. Das Refa-Buch, Band 1, a.a.O., S. 36.

[3] Hennig, K.W.; Betriebswirtschaftliche Organisationslehre, 3. Aufl., Berlin - Göttingen - Heidelberg 1957, S. 65.

durch den Transport wirtschaftlicher zu gestalten, muß man versuchen, dem Fördermittel weitere Funktionen als nur die der Beförderung zu übertragen. Zwei Möglichkeiten bieten sich dabei für kontinuierliche Fördermittel an. Einmal kann das Transportmittel die Funktion des Lagerns übernehmen. Diese "schwimmenden" Läger sind in der Regel sich im geschlossenen Kreis bewegende Förderbände, sogenannte Anbieterbänder. Der zweite Fall ist dadurch gekennzeichnet, daß das Transportmittel das Fördergut nicht nur an die Maschine heranführt, sondern auch in die bearbeitungsgerechte Lage bringt. Solche Förderanlagen bezeichnet man im Amerikanischen als linking devices; sie sind charakteristisch für Transferstraßen[1].

Nicht immer ist es möglich, bei der betrieblichen Leistungserstellung kontinuierliche Erzeugungsverfahren anzuwenden, besonders dann nicht, wenn es sich um Einzel- oder Serienfertigung handelt. Müssen Werkstücke mehrere Maschinen durchlaufen, die nicht räumlich aneinandergereiht sind, und die sich auch nicht in der Bearbeitungszeit aufeinander abstimmen lassen, so wird die Planung des innerbetrieblichen Transportes vor eine schwierigere Aufgabe gestellt als im Fall einer kontinuierlichen Fertigung. Hier muß die Bereitstellungsplanung dafür Sorge tragen, daß ständig Geräte und Personal zur Befriedigung des mehr oder weniger unregelmäßig auftretenden Transportbedarfs zur Verfügung stehen. Die Transportmittel - in diesem Falle intermittierende, wie Lastwagen, Gabelstapler, Karren, Kräne - müssen in der Lage sein, sowohl bis zum Ladeort zu gelangen, als auch die verschiedenartigsten Transportgüter befördern zu können. Im Gegensatz zum kontinuierlichen Transportvollzug verlangt die Planung intermittierender Transporte den Einsatz hinsichtlich ihrer Freizügigkeit und ihrer Ladefähigkeit elasti-

[1] Vgl. Pollock, Fr.; Automation, Frankfurt a.M. 1956, S. 154.

scher Transportmittel[1].

1201. ... nach Transportobjekten

Als nächstes muß der Bereitstellung von Fördermitteln eine genaue Analyse des Transportgutes vorangehen. Dabei ist es nicht nur wichtig zu wissen, welcher Art, Größe und Beschaffenheit die einzelnen Transportobjekte sind[2]. Die Menge oder Masse, in der

---

[1]Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt Mellerowicz, der allerdings eine andere Einteilung der Fertigungsverfahren trifft:

a. Zur Fließfertigung: Dem stetigen, gleichmäßigen Arbeitsfluß entspricht ein ebenso stetig und gleichmäßig arbeitendes Förderwesen (soweit nicht durch Ausnutzung der Schwerkraft Fördermittel entbehrlich sind, wie z.B. bei selbsttätiger Fortbewegung von Flüssigkeiten in einem Röhrensystem). Die Fördereinrichtungen, wie Transportbänder, Rollenbahnen usw., sind in ihrer Leistungsfähigkeit (Tragfähigkeit, Breite, Geschwindigkeit usw.) auf die speziellen Förderbedürfnisse abgestimmt.

b. Zur Straßen- oder Linienfertigung: Da der Straßenproduktion der stetige Arbeitsfluß fehlt, ist auch das erforderliche Förderwesen nicht derart weitgehend wie bei der Fließproduktion mechanisiert und geregelt. Da aber im allgemeinen die gleichen Arbeitsplätze und Maschinen im Arbeitsablauf aufeinanderfolgen, können zwischen den Plätzen Spezialfördereinrichtungen angebracht werden, z.B. transportable kurze Gurtförderbänder, Rutschen, Drehtische usw..

c. Zur Gruppen- oder Gemischtfertigung: Die zwischen den Funktionsgruppen verkehrenden Transportmittel sind vielseitig im Verwendungszweck und elastisch in der Streckenführung, ihr Einsatz erfolgt meist fallweise. Dagegen können innerhalb der Funktionsgruppe Spezialfördereinrichtungen zum Einsatz kommen.

d. Zur Werkstattfertigung: Dem häufigen und vielartigen Produktionswechsel entspricht ein ebenso wechselnder, fallweise auftretender Förderbedarf. Die Fördereinrichtungen müssen daher vielseitig in ihrer Verwendungsfähigkeit sein, und ihr Einsatz erfolgt entsprechend fallweise.

Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, a.a.O. S. 105 ff..

[2]Riebel unterscheidet: 1. Fließgüter und zwar ungeformte (amorph erstarrte Massen, amorphe Bruchstücke, Schüttgüter, Flüssigkeiten, Gase, 2- und 3-phasige Gemische) und geformte (2-dimensional konstruktiv festgelegte "endlose" faden-, seil-, band-, stangen-, röhren-, flächenförmige Güter); 2. Stückgüter, a.a.O., S. 49.

das Gut zur gleichen Zeit transportiert werden kann, ist von entsprechender Bedeutung[1]. HEINER spricht in diesem Zusammenhang von der Förderintensität, die besagt, "welche Menge innerhalb eines Zeitraumes befördert werden soll". In Form einer Gleichung ausgedrückt, stellt sie den Quotienten aus der Menge des zu befördernden Gutes und der Zeit dar.

$$\text{Förderintensität} = \frac{\text{Fördermenge}}{\text{Zeiteinheit}}$$

Die oben erwähnte Menge oder Masse, die zu einer Transporteinheit zusammengefaßt werden kann, bezeichnet HEINER als Förderlos, die Häufigkeit der Transportvorgänge - bei diskontinuierlicher Förderung - als Förderfrequenz. Für den intermittierenden Transport erweitert sich damit die Formel:

$$\text{Förderintensität} = \text{Förderlos} \cdot \frac{\text{Anzahl der Förderlose}}{\text{Zeiteinheit}}$$

$$\text{Förderintensität} = \text{Förderlos} \cdot \text{Förderfrequenz}.$$

Die Beschaffenheit des Fördergutes entscheidet über die Art des Transportmittels (z.B. flüssige Ladung - Tankwagen oder Behälter, Schüttgut - verschalte Wagen, Stückgut - offene Wagen), die Menge des zu einem bestimmten Zeitpunkt zu transportierenden Gutes über seine Größe. Daneben ist zu berücksichtigen, ob das Förderobjekt während der Fahrzeit einer Wertminderung unterworfen ist, zum Beispiel durch Verdunsten, ob es bruchsicher und stoßfest ist und ob Feuer- oder Explosionsgefahr besteht. Wie ausgeführt, beinhaltet der Begriff Transport auch das Laden und Entladen sowie die dazwischen liegenden Wartezeiten. Somit gilt es, vor der Wahl eines Fördermittels eine genaue Bewegungsstudie des Transportvorganges durchzuführen, um gegebenenfalls solche Geräte anzuschaffen, die in der Lage sind, zu heben, zu stapeln, selbsttätig zu laden und zu löschen. Als weiteres Kriterium für die Wahl von Transportmitteln nach der Gestalt des Fördergutes sei die Art genannt, in der sich das Fördermittel

[1] Heiner; a.a.O., S. 28.

in einen kombinierten Transportvollzug einordnet. So ist es zum Beispiel nicht sinnvoll, Werkstücke, die mit einem Kran in ein Aggregat eingegeben werden, durch einen geschlossenen Wagen in den Wirkungsbereich der Krananlage zu bringen. Welches Fördermittel im konkreten Fall zur Anwendung kommen soll, hängt von den innerbetrieblichen Gegebenheiten der einzelnen Unternehmungen ab. Es sei aber darauf hingewiesen, daß Fließgüter im allgemeinen einen guten Ansatzpunkt zur Mechanisierung der Produktion bieten. Das Förderwesen muß sich diese Erkenntnis zunutze machen. So mag als generelle Aussage gelten, daß Fließgüter die Anwendung starrer, motorisch betriebener stetiger Fördermittel erlauben, während die Be- und Verarbeitung von Stückgütern freizügige, elastische, diskontinuierliche Transportmittel erfordert.

1202. ... nach dem Förderweg

Die Beziehung zwischen der Planung des Transportmitteleinsatzes und dem Transportweg sind wechselseitig. Unter dem innerbetrieblichen Transportweg wollen wir die Strecke verstehen, auf der sich der Förderakt vollziehen kann. Die Definition läßt erkennen, daß der Transportweg nicht a priori festliegt. Ein Ziel der Transportplanung besteht hierbei darin, die Gesamtlänge der Förderwege zu minimieren. Unter diesem Postulat erscheint die Gerade, d.h. die Luftlinie, zwischen dem Absende- und Empfangsort als die günstigste Strecke. Eine solche Transportgestaltung lassen die räumlichen Verhältnisse eines Betriebes jedoch selten zu. Die Transportmittelplanung muß sich also den architektonischen Gegebenheiten anpassen. Andererseits erfordern einige Transportmittel hinsichtlich der Weggestaltung bestimmte bauliche Voraussetzungen. Der Einsatz schienengebundener Fördermittel zum Beispiel bedarf eines festen Fundaments für die Gleise, eine Laufkrananlage benötigt eine tragfähige Dachkonstruktion. Hier treten die Probleme des innerbetrieblichen Standortes unter Berücksichtigung der Transportwege auf, die Inhalt einer späteren Erörterung sein werden. Zunächst gilt festzuhalten, daß die Wahl eines Transportmittels von den räumlichen Gegebenheiten des Betriebes mitbestimmt wird. Zwei Gesichtspunkte sind dabei zu beachten. Einmal ist die Frage zu stellen, ob überhaupt

genügend Raum für den Einsatz des Transportmittels vorhanden ist. Zum anderen ist zu bedenken, daß "das Fördern von Gütern in waagerechter, schräger und senkrechter Richtung nötig sein" kann[1]. Zum Teil ist auch ein kombinierter Transportvollzug erforderlich. Diese Kriterien sind bei der Fördermittelauswahl zu berücksichtigen. Die genannten grundsätzlichen Einflüsse des Transportweges auf die Bereitstellungsplanung von Transportmitteln beinhalten eine Reihe von Einzelfaktoren, wie sie das Refa-Buch, Band 1[2], nennt. Als wichtigste seien hier genannt:

1. Muß das Fördermittel stets einen ganz bestimmten Förderweg oder ständig andere Wege nehmen?
2. Welche Streckenlänge hat das Fördermittel jeweils zurückzulegen?
3. Sind die Förderwege gradlinig oder krummlinig?
4. Müssen die Fördermittel auch seitlich abbiegen?
5. Müssen auch andere Verkehrswege gekreuzt werden?
6. Wie ist der Boden der Förderwege beschaffen?
7. Ist nur in waagerechter oder auch in senkrechter oder schräger Richtung zu fördern?
8. Kann die Schwerkraft zur Förderung ausgenutzt werden?
9. Ist es zur Raumersparnis oder aus anderen Gründen zweckmäßig, Fördermittel zu wählen, die die Last von oben her aufnehmen und hängend bewegen?

121. Bereitstellung von Personal und Hilfsmitteln

Eng verbunden mit der Bereitstellungsplanung von Transportmitteln ist die Bereitstellungsplanung des Transportpersonals und der für den Einsatz von Fördermitteln notwendigen Betriebsmittel. Ohne Frage funktioniert ein Transportwesen nur dann, wenn

---

[1] Refa-Buch, Band 1, a.a.O., S. 73.
[2] a.a.O., S. 73-74.

für die Lenkung oder Steuerung, für die Wartung oder Reparatur der eingeplanten Fördermittel eine ausreichende Anzahl von Arbeitskräften zur Verfügung steht, die in der Lage sind, den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden. Besonders beim diskontinuierlichen Transport muß vom Förderpersonal ein entsprechendes Maß an Improvisationsvermögen verlangt werden, damit unregelmäßig anfallende Transportbedürfnisse ohne Verzögerung befriedigt werden können. Weiterhin ist es Aufgabe der Bereitstellungsplanung, dafür Sorge zu tragen, daß Apparate, Einrichtungen und Hilfsmittel vorhanden sind, welche die Voraussetzungen einer Leistungsabgabe der Fördermittel erst ermöglichen. Dazu gehören u.a. Kraft und Schmierstoffanlagen, elektrische Energiequellen, Wartungs- und Reparaturanlagen.

13. Transportwirtschaftliche Ablaufplanung[1]

Die Bereitstellungsplanung von Transportmitteln und -einrichtungen, von Transportpersonal und Betriebsstoffen ist der eine Teilbereich der Vollzugsplanung; der andere, die Ablaufplanung, übt einen weitaus größeren Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Transportwesens aus. Ihm wollen wir uns jetzt zuwenden.

Wenn im Rahmen der Produktionsplanung das Fertigungsprogramm in qualitativen, quantitativen und zeitlichen Umrissen feststeht, bleibt es der Vollzugsplanung vorbehalten, die Durchführung der betrieblichen Leistungserstellung vorzuplanen. Dieses geschieht, wie aufgezeigt, zunächst durch die Phase der Bereitstellungsplanung, sodann durch die Phase der Arbeitsablaufplanung. "Der Arbeitsablauf ist das zeitliche Hinter- und Nebeneinander von Vorgängen"[2]. Entsprechend besteht die Aufgabe der Ablaufplanung darin, den Arbeitsablauf räumlich und zeitlich zu gestalten, und zwar unter dem Postulat der Wirtschaftlichkeit. Bereitstellungs- und Ablaufplanung stehen in einem engen Verhältnis zu-

[1] Eine besondere Methode der Ablaufplanung, die sogenannte Netzwerktechnik, wird im 6. Kapitel behandelt.

[2] Hennig, K.W.; Betriebswirtschaftliche Organisationslehre, a.a.O., S. 49.

einander. Einerseits beeinflußt die Kapazität der Betriebsmittel die Geschwindigkeit des Bearbeitungsprozesses, die technischen Leistungsfähigkeiten der einzelnen Aggregate stellen also für die Ablaufplanung feste Plandaten dar. Andererseits besteht in der Regel bei der Beschaffung von Betriebsmitteln die Wahl zwischen Aggregaten verschiedener Kapazität. Welches davon bereitzustellen ist, entscheidet die Art, wie sich das Betriebsmittel in den gesamten Ablaufplan einordnet.

Dem innerbetrieblichen Transportwesen fällt innerhalb der Ablaufplanung die Aufgabe zu, das Förderwesen so zu gestalten, daß bei der Anlieferung und dem Abholen der Transportobjekte zum und vom Transportort keine zeitlichen Engpässe entstehen[1]. Über dieser, von der betrieblichen Wirklichkeit diktierten Aufgabenstellung, steht das mehr in der theoretischen Fiktion bestehende Ziel, die gesamten innerbetrieblichen Transportvorgänge bis auf das mögliche Mindestmaß zu reduzieren: Die Transportplanung hat ihre Aufgabe maximal erfüllt, wenn sie die Voraussetzungen geschaffen hat, den innerbetrieblichen Transport ganz zu beseitigen.

130. Analyse der Transportzeit

Da das innerbetriebliche Transportwesen einen großen Anteil in der gesamten Produktionsdauer hat, gilt es zu prüfen, inwieweit eine Verkürzung der Transportzeit durch eine Steigerung der Produktionsgeschwindigkeit erfolgen kann. Dieser Überlegung muß eine genaue Analyse der Förderzeit vorangehen. GUTENBERG[2] faßt Bearbeitungs- und Förderzeit als Bewegungszeit einer-

---

[1] Vgl. Mellerowicz, K.; "Der Transportplan ist Voraussetzung dafür, daß die Materialien und Fertigteile rechtzeitig und in ausreichender Menge zu den einzelnen Fertigungsstellen gebracht und die Erzeugnisse von dort wieder abtransportiert werden, damit keine unwirtschaftlichen Werte und überhöhte Lagerbestände entstehen". Planung und Plankostenrechnung, Band 1, Betriebliche Planung, Freiburg i. Br. 1961, S. 122-123.

[2] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 156.

seits und ruhende oder tote Zeiten andererseits zu dem Oberbegriff Durchlaufzeit zusammen und stellt fest, "daß die optimale Durchlaufzeit dann erreicht ist, wenn die ruhenden oder toten Zeiten gleich Null sind". Er faßt demnach Bearbeitungs- und Förderzeiten als Daten auf. Die Forderung nach einem rationellen Ablauf des Förderwesens darf jedoch nicht bei der Minimierung allein der toten Zeiten halt machen, sondern erstreckt sich weiter auf die Reduzierung der Förderzeiten. Erinnern wir uns daran, daß wir den Transport als eine "Spielart der Produktion" sehen, kommen wir zu dem Schluß, daß für das Transportwesen ähnliche Zeiten gelten, wie sie dem Fertigungsvorgang inhärent sind, also - im wesentlichen - Hauptzeit, Rüstzeit, Nebenzeit, Verlustzeit[1]. Nach dem RKW gliedert sich die Transportzeit wie folgt[2]:

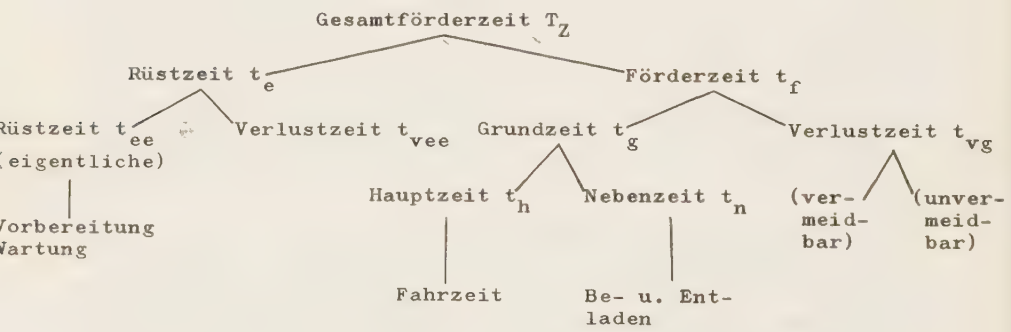


Abbildung 13

[1] Vgl. Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2. Band, a.a.O., S. 275: Der Transportvorgang entspricht in den Grundzügen einem Fertigungsvorgang: Er setzt sich zusammen aus dem Rüsten - dem Vorbereiten der Transportmittel und des Transportgutes, dem Aufstellen und Lesen der Transportanweisungen usw. - (Rüstzeit) und dem eigentlichen Transportvorgang, bestehend aus dem Bewegungsvorgang des Transportierens (Hauptzeit), den Lade- und Stapelarbeiten (Nebenzeit) und den je nach der Vollkommenheit der Transportorganisation und der Leistung der Funktionsträger entstehenden Verlust- und Wartezeiten (sachlich und persönlich bedingte Verlustzeiten).

[2] RKW-Veröffentlichung Nr. 10, Die gleislose Flurförderung, Teil I, Grundlagen wirtschaftlicher Flurförderung, Berlin 1929, S. 22.

Die gesamte Rüstzeit beinhaltet die Vorbereitung und Wartung des Fördermittels (eigentliche Rüstzeit) sowie Leerfahrten zum Einsatzort (Verlustzeiten), die Förderzeit setzt sich zusammen aus dem Be- und Entladen und der Fahrzeit (Grundzeit) und den vermeidbaren und unvermeidbaren Wartezeiten (Verlustzeiten). Jede dieser Zeiten bildet für sich einen Ansatzpunkt für die Rationalisierung der Förderweisen. Mit Hilfe von Transportbegleitkarten lassen sich die Einzelzeiten feststellen und bilden somit eine Grundlage für die Ablaufplanung. Die Praxis zeigt, daß gerade die Verlustzeiten einen hohen Anteil an den gesamten Förderkosten haben. Dies ist die Ursache des Trends zum kontinuierlichen Fördermittel. Dort, wo nur intermittierend gefördert werden kann, muß jeder Vorgang auf die Möglichkeit zur zeitlichen Reduzierung hin untersucht werden. So kann zum Beispiel die Rüstzeit durch eine rationelle Gestaltung des Wartungsdienstes verringert werden, die Hauptzeit durch Erhöhung der Geschwindigkeit, die Nebenzeit durch mechanische Ladeeinrichtungen, der Verlustzeit durch die Einhaltung eines transportgerechten Fahrplanes.

Auf diese Weise wird erreicht, daß der Quotient aus Rüstzeit plus Verlustzeit und Grundzeit nach 0 strebt:

$$\text{zeitlicher Verlustgrad} = \frac{\text{Rüstzeit + Verlustzeit}}{\text{Beförderungszeit}} \rightarrow 0$$

oder - auf die mögliche (kapazitative[1]) Förderzeit bezogen - daß der Quotient aus effektiver Transportzeit und kapazitativer Transportzeit nach 1 strebt:

$$\text{zeitlicher Ausnutzungsgrad (Beschäftigung)} = \frac{\text{effektive Transportzeit}}{\text{kapazitative Transportzeit}} \rightarrow 1$$

[1] Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2. Band, a.a.O., S. 274.

131. Einflußgrößen auf den Faktor Zeit

Wenn der innerbetriebliche Transportvorgang in seinen einzelnen zeitlichen Ablaufphasen fixiert ist, erhebt sich die Frage nach den Faktoren, von denen die Zeitdauer des Transportes abhängt. Läßt sich die Zeit als abhängige Variable einer Funktion darstellen, so bewirkt die Variation der unabhängigen Variablen eine Veränderung der Zeit. Funktionale Zusammenhänge dieser Art gilt es nun nachzuweisen.

Bei der rationellen Gestaltung des Ablaufes der innerbetrieblichen Bewegungsvorgänge sind folgende Einflußgrößen zu berücksichtigen.

1. Planfixe Daten, die sich aus den räumlichen Gegebenheiten, aus der Produktionsplanung allgemein und aus der Bereitstellungsplanung des Förderwesens ergeben.
2. Variable Planungselemente und zwar a. die Wahl des Transportweges, b. die Wahl der Transportgeschwindigkeit, c. die Wahl der Größe des Förderloses.

Die für die Ablaufplanung festen Daten sind im Rahmen der Bereitstellungsplanung bereits behandelt worden, wir müssen nunmehr von der Voraussetzung ausgehen, daß in einem gegebenen Betrieb mit gegebenen Transportmitteln, Transportpersonal etc. genau feststehende Transportbedürfnisse bestehen, die durch die optimale Kombination der beeinflußbaren Gestaltungselemente zu befriedigen sind. Diese Transportbedürfnisse bestehen etwa darin, daß Arbeitskräfte zu ihrem Arbeitsplatz zu bringen sind, daß Schriftgut durch verschiedene Abteilungen zu befördern ist, oder daß Werkstoffe in einer bestimmten Reihenfolge zu den einzelnen Maschinen transportiert werden müssen. Eine exakte Arbeitsablaufanalyse des Produktionsprozesses muß diese Aufgabenstellung für den Einzelfall präzisieren, etwa in Form eines Zeitplanes:

8.15 Uhr: Beschickung des Ofens mit 2 t Masseln aus dem Masselager

8.25 Uhr: Ein $1m^3$-Transportbehälter mit Abfall von Blechschere I zum Schrottlager

usw.

1310. Geschwindigkeit

Die genannten drei variablen Planungselemente sind auf das engste miteinander verknüpft, wie die Formel

Förderintensität = Förderlos · Förderfrequenz

zeigt: je kleiner zum Beispiel die Größe des Förderloses einer bestimmten zu transportierenden Menge, desto größer ist die Förderfrequenz und desto höher muß entsprechend der Geschwindigkeit gewählt werden. Mit anderen Worten: Um eine bestimmte Menge eines Gutes in einem vorgegebenen Zeitraum von A nach B zu transportieren, kann entweder die gesamte Menge in einem Gang befördert werden, wobei die niedrigste zulässige Geschwindigkeit durch den Quotienten Weg: Zeitraum bestimmt wurde. $V = \frac{S}{t}$ oder konkret $V = \frac{m}{min}$[1]. Dieser Fall setzt einmal ein großes Fassungsvermögen des Transportmittels voraus, zum anderen das Vorhandensein der gesamten Fördermenge zu einem bestimmten Zeitpunkt. Nicht selten aber müssen Werkstücke von einer Maschine zur anderen befördert werden, bevor der ganze Auftrag durchgelaufen ist. Dies charakterisiert den zweiten Fall: die Gesamtmenge wird in Transportlose aufgeteilt. Um dem Förderbedürfnis in der vorgeschriebenen Zeit nachkommen zu können, muß die Geschwindigkeit der Transportvorgänge nach der Formel $V = \frac{s \cdot (n-1)}{t - \left[(n-1)t_e\right]}$, erhöht werden[2], wobei n für die dop-

[1] Es handelt sich dabei um eine gleichförmige Bewegung, ohne Berücksichtigung von Beschleunigung oder Verzögerung, also um die mittlere Geschwindigkeit. Bei ungleichförmiger Bewegung erhält man die Augenblicksgeschwindigkeit durch die 1. Ableitung des Weges nach der Zeit $V = \frac{ds}{dt}$.

[2] n-1 für den Fall, daß das Fahrzeug nicht an den Ausgangsort zurückkehrt.

pelte Anzahl (Rückweg!) der Transportgänge, t für den Planungszeitraum und t_e für die zusätzlichen Be- und Entladezeiten steht. Dazu ein Beispiel:

Innerhalb von 25 min sind 9 t von A nach B über eine Entfernung von 600 m zu befördern. Es kann zum Einsatz kommen, entweder der 9 t Flurförderer mit einer Mindestgeschwindigkeit von 24 m/min oder der 3 t Förderer (zusätzliche Zeit für Be- und Entladen 1 min). In diesem Falle müsse die Geschwindigkeit mindestens betragen:

$$\frac{600 \cdot 5}{25-(5 \cdot 1)} = 150 \text{ m/min}$$

Setzt man die Prämisse, daß eine Vielzahl von Fördermitteln mit verschiedenen Nutzlasten vorhanden ist, oder im Extremfall, daß Fördermenge und Transportmittel infinitesimal teilbar sind, dann läßt sich das Verhältnis von Förderlast und Transportgeschwindigkeit anhand eines Diagramms darstellen. In dem Koordinatensystem (Abb. 14), das aus dem Beispiel entwickelt ist, wird ersichtlich, wie sich die Geschwindigkeit bei abnehmender Last steigern läßt.

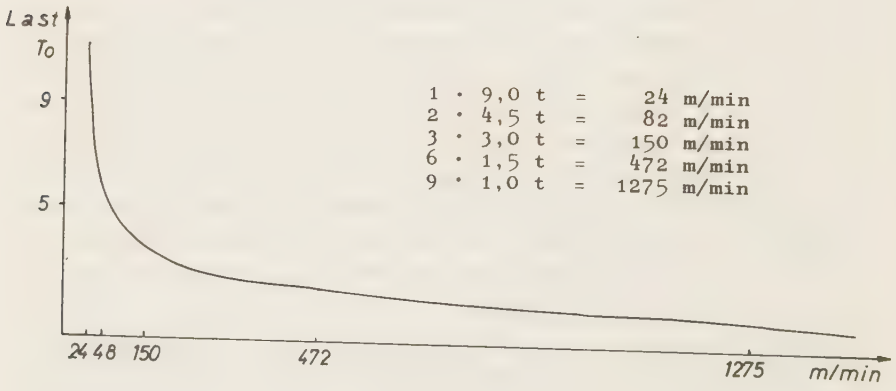


Abbildung 14

Dieser Fall charakterisiert die enge Verknüpfung der Faktoren Gewicht - oder besser: Anzahl der Förderlose - und Geschwindig-

keit innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalles.

Die Prämisse, die den Zeitraum als Konstante fixiert, entspricht nicht immer der betrieblichen Wirklichkeit. Besonders bei heterogenen Transportvorgängen gelingt eine Zeitvorgabe nur unvollständig. Liegt der Förderweg und die Fördermenge fest, so entscheidet die Geschwindigkeit über die zeitliche Dauer des Transportvollzuges. Je schneller sich das Transportmittel bewegen kann, desto kürzer wird die Zeit. Es ist hier der Tatbestand der peripheren Substitution gegeben[1]. Die in Abbildung 15 gezeigte Hyperbel stellt die Indifferenzkurve der unserem Beispiel gemäßen möglichen Kombinationen von Transportdauer und -geschwindigkeit für eine konstante Weglänge dar.

Dauer eines Transportaktes t	Geschwindigkeit v	Weglänge s
25 min	24 m/min	600 Meter
7,3 "	82 "	
4 "	150 "	
1,3 "	471 "	
0,5 "	1275 "	

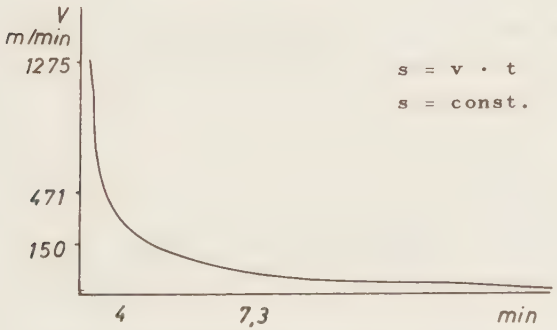


Abbildung 15

[1] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 204.

Die Bewältigung einer räumlichen Entfernung ist nur mittelbare Aufgabe des Förderwesens, seine unmittelbare Funktion besteht in der Beförderung einer bestimmten Menge Güter innerhalb kürzester Zeit bzw. einer größtmöglichen Menge innerhalb eines bestimmten Zeitraumes. Die Geschwindigkeit als Quotient aus Strecke und Zeit darzustellen erscheint daher wenig aussagefähig; es fehlt die Beziehung zum Fördergut. In Anlehnung an die Produktionstheorie von H. v. STACKELBERG, der den Begriff Produktionsgeschwindigkeit in die Wirtschaftstheorie eingeführt hat[1], empfiehlt sich - besonders für die später folgenden kostentheoretischen Überlegungen - die Angabe der Transportgeschwindigkeit durch die transportierte Menge in einer Zeiteinheit, wobei sich die Menge in Gewichts-, Raummaß- oder Stückeinheiten messen läßt (kg/h, hl/min, Stck/sek[2]).

Es tritt nun die Frage auf, ob es nicht sinnvoll ist, die Geschwindigkeiten der einzelnen Transportvorgänge bis zum technisch möglichen Maximum zu steigern. Diese Frage muß verneint werden, denn über den wirtschaftlichen Einsatz von Fördermitteln entscheidet nicht allein die Länge der Förderzeit, sondern auch die bestmögliche Auslastung der vorhandenen Fördermittel. Auf den Fertigungsprozeß angewendet, spricht GUTENBERG in diesem Sinne von dem Dilemma der Ablaufplanung[3]. Der Transportplanung stellt sich hier also die Frage nach dem Optimum von Transportgeschwindigkeit einerseits und kapazitätsausnutzung der Fördermittel andererseits. Das Dilemma der Ablaufplanung des Transportwesens verringert sich je mehr der Betrieb in der Lage ist, kontinuierliche Fertigungsverfahren zu realisieren und kommt zum Verschwinden, wenn Transportzeiten und Fertigungszeiten synchron verlaufen.

---

[1] Stackelberg, H. v.; Grundlagen einer reinen Kostentheorie, Wien 1932.

[2] Stackelberg, H. v.; a.a.O., S. 5: "Wir messen die Produktionsgeschwindigkeit eines Betriebes durch die jeweils in einer Zeiteinheit vom Betrieb produzierte Menge einer bestimmten Produktionsart".

[3] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 156.

Die gegenseitige Abhängigkeit der Faktoren Geschwindigkeit und Anzahl der Förderlose sowie ihr Einfluß auf die Zeit läßt sich wie folgt zusammenfassen: Bei Konstanthaltung der Zeit muß sich mit der Anzahl der Förderlose die Geschwindigkeit der einzelnen Transportvorgänge erhöhen. Ist die Zeit nicht fixiert, so ändert sie sich mit der Geschwindigkeit. Im ersten Fall bleibt die Fördermenge je Zeiteinheit $Q_V = \frac{V}{t}$ oder $Q_G = \frac{G}{t}$ [1].

1311. Weg

Wie aufgezeigt, verändert sich bei Konstanz der Weglänge die Zeit mit der Geschwindigkeit. Bei konstanter Geschwindigkeit entscheidet demnach die Länge - oder Beschaffenheit - der Transportstrecke über die Dauer des Transportvorganges. Der Zusammenhang ist einfach: je kürzer der zurückgelegte Weg, desto geringer der zeitliche Aufwand. Der Weg ist bekanntlich das Produkt aus Geschwindigkeit und Zeit. $S = V.t$. Setzen wir eine gleichbleibende Geschwindigkeit voraus, $S = V_{const.} \cdot t$, so bedeutet jede Verkürzung des Transportweges eine Verringerung der Transportzeit. Das heißt, ein Fördermittel muß so eingesetzt werden, daß der Quotient aus der möglichen kürzesten Verbindung, im theoretischen Fall die Luftlinie und den tatsächlichen Transportweg nach 0 strebt.

$$\text{Nutzungsgrad des Weges} = \frac{\text{kürzeste Verbindung}}{\text{effektiver Transportweg}} \longrightarrow 0$$

Um der Forderung nach einer räumlichen und damit zeitlichen Reduzierung von Transportvorgängen Genüge zu leisten, müssen sowohl die zum Zeitpunkt der Analyse befahrene Strecke als auch mehrere mögliche kürzere Wege festgestellt werden. Jede Rationalisierungsmaßnahme setzt eine genaue Kenntnis des Istzustandes voraus, der einem Sollzustand gegenüberzustellen ist. Der Sollzustand unterliegt der Bedingung der Verifizierbarkeit, daher besitzt im Falle des innerbetrieblichen Transportweges

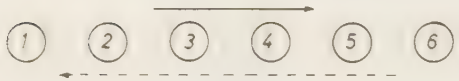
[1] Symbole nach VDI-Richtlinien Förderwesen 2411 vom November 1962. V = Volumen, G = Gewicht, Q = Menge.

die Luftlinie als Sollzustand nur hypothetischen Charakter, von wenigen Ausnahmen (Förderung durch Kräne, Fließband) abgesehen.

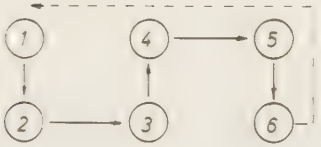
13110. Grundformen des Transportweges

Es ist nun an der Zeit, darauf hinzuweisen, daß die Minimierung des Transportweges zwischen zwei Punkten nur eine Detailaufgabe der Ablaufplanung darstellt, die dem großen Rahmen der räumlichen Gesamt-Transportplanung entnommen ist. Die Beförderung eines Objektes von A nach B beendet zwar den einzelnen Transportakt, nicht aber die Erfüllung der Transportaufgabe insgesamt. In nahezu allen Abteilungen des Betriebes bestehen permanent Transportbedürfnisse, die zu befriedigen sind. Nach Erfüllung eines Teilauftrages muß ein Fördermittel folglich einen anderen Empfangsort aufsuchen. Die Lage des jeweiligen Be- und Entladeortes hat Einfluß auf die zu planende Förderstrecke. Analog zu der Darstellung des Materialflusses im Handbuch des Industrial Engineering[1] unterscheiden wir fünf Grundformen des Transportweges:

1. Gradliniger Transportweg

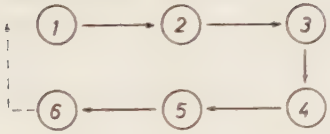


2. Schlangen- oder Zickzackweg

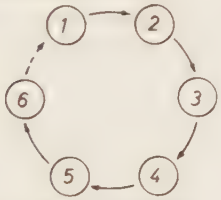


[1] Teil VII, S. 69.

3. U-förmiger Weg



4. Kreisförmiger Weg



5. Unregelmäßiger Fluß

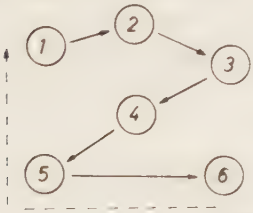


Abbildung 16

Das Schema dieser Grundformen läßt sich durch zahlreiche Kombinationen erweitern, besonders wenn man die Notwendigkeit einbezieht, daß einige Punkte mehrfach beruhrt werden müssen. Ein Unterschied zu der Darstellung des Materialflusses muß besonders hervorgehoben werden. Während der Materialstrom in Abbildung 16, 5 bei Punkt 6 endet, muß bei diskontinuierlichem Förderverfahren zu dem Transportweg noch der Ruckweg des Transportmittels gerechnet werden (gestrichelte Linien).

MÜLLER[1] bezeichnet folgende fünf Verkehrsarten als gebräuchlich: a. Pendelverkehr, b. Streckenfahrten, c. Rundfahrten,

[1] Müller, K.; Das gleislose innerbetriebliche Transportwesen in der Industrie, Winterthur 1956, S. 16.

d. Bedarfsfahrten, e. gemischter Verkehr. Diese Einteilung erscheint wenig glücklich, weil hier räumliche und zeitliche Gesichtspunkte vermischt werden. ALBRECHT[1] findet eine Einteilung der Transportwege, die im wesentlichen den Grundformen des Industrial Engineering Handbook gleicht. ALBRECHT unterscheidet:

1. Pendelverkehr. Das ist die Hin- und Rückfahrt eines Fördermittels zwischen zwei Punkten. Diese Form ist ökonomisch nur sinnvoll, wenn beide Wege mit Fördergut zurückgelegt werden, d.h. wenn beide Stellen sowohl empfangen als auch liefern. Die unwirtschaftlichste Art des Pendelverkehrs stellt die Einzelfahrt dar, weil dabei entweder der Hin- oder der Rückweg in Leerfahrt erfolgt[2].

2. Flächenverkehr. Er entspricht der im Industrial Engineering Handbook als 'unregelmäßiger Fluß' bezeichneten Grundform, jedoch mit dem Unterschied, daß einige Stellen mehrfach anzufahren sind. Dieser Fall bildet ein Charakteristikum für die Anwendung von Flurfördermitteln in Industriebetrieben. Hierbei entstehen oft lange Wartezeiten.

3. Linienverkehr. Es ist eine dem Flächenverkehr ähnliche Grundform, bietet aber die Möglichkeit, den Transport nach einem festen Fahrplan zu vollziehen. Diese Form kann überall dort angewendet werden, wo ein nach Art und Menge fixierter Transportbedarf in zeitlich bekannter Folge anfällt. ALBRECHT weist darauf hin, daß es sich, "wo es die Verhältnisse zulassen, empfiehlt, das Zugmittel vom Lastträger zu trennen", um durch Be- und Entladen bedingte Wartezeiten zu vermeiden.

4. Ringverkehr. Er entspricht dem obengenannten kreisförmigen Fluß und stellt eine Abart des Linienverkehrs dar, wobei Abfahrts- und Zielpunkt zusammenfallen.

---

[1] Albrecht, H.G.; Gleislose Batteriefahrzeuge und ihre Anwendung, Frankfurt/M. 1958, S. 83 ff..

[2] Siehe Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, a.a.O., S. 281.

5. Sternverkehr. Eine Kombination von Pendel- und Ringverkehr wird als Sternverkehr bezeichnet. Der Ringverkehr vollzieht sich auf bestimmten, vorgegebenen Transportwegen. Jeder Haltestation sind eine Reihe von Abteilungen zugeordnet, von denen die Transportgüter im Pendelverkehr in den Bereich des Rundweges befördert werden.

Bis auf den Flächenverkehr, der sich einer starren Planung entzieht, eignen sich die übrigen Grundformen sowohl für diskontinuierliche als auch für kontinuierliche Transportverfahren.

Die "räumliche" Ablaufplanung des Transportwesens, d.h. die Planung der Transportstrecke, läßt sich am anschaulichsten am Beispiel eines Transportmittels darstellen, das verschiedene Absende- und Empfangsorte zu "beliefern" hat. Sowohl für kontinuierliche als auch für intermittierende Fördermittel besteht die Möglichkeit der Anwendung einer der aufgezeigten Grundformen des Transportflusses. Die Transportplanung wird bei dem Einsatz des Fördermittels nach der Maxime des kürzesten Weges handeln. Diesem Bestreben sind durch die zeitliche Reihenfolge der Transportbedürfnisse Grenzen gesetzt. Wir müssen daher unterscheiden in 1. streng determinierte Transportprozesse und 2. nicht determinierte Transportprozesse. Im ersten Fall besteht für das Transportmittel hinsichtlich der Förderstrecke nur eine geringe Wahlmöglichkeit. Das Erzeugungsverfahren schreibt den zeitlichen Ablauf des Transportvollzuges vor. Es liegt auf der Hand, daß sich dabei - besonders bei diskontinuierlichen Fertigungsverfahren - unwirtschaftliche "Kreuz- und Querfahrten" ergeben können, die zu vermeiden bereits Aufgabe der Fabrikplanung ist. Sind die Transportprozesse vom Produktionsverfahren her nicht determiniert, so besteht die Möglichkeit, den Einsatz des Transportmittels unter dem Gesichtspunkt des kürzesten Gesamtweges zu planen.

Ausgangspunkt für die Transportplanung ist der Ablaufplan der eigentlichen Erzeugung, aus dem hervorgeht, welche Mengen der benötigten Güter zu welcher Zeit an einem bestimmten Ort sein müssen. Sind die Zeiten nicht minutiös fixiert (Fall des nicht

determinierten Transportprozesses), kann die Aufstellung des Fahrplanes nach räumlichen Kriterien erfolgen. Im Falle des determinierten Transportprozesses wird der kürzeste Weg nur dann verwirklicht, wenn die zeitliche Reihenfolge der einzelnen Transportpunkte (z.B. Maschinen) ihrer räumlichen Anordnung entspricht. Kann der Weg ohne Rücksicht auf zeitliche Vorgaben gewählt werden, so stellt entweder der sogenannte kürzeste Rundreiseweg[1] das Minimum dar oder der gradlinige Transportfluß, wenn die Rückfahrt zum Ausgangspunkt nicht leer erfolgt.

Die Weglänge ist nur einer - wenn auch der wichtigste - Faktor bei der Wahl der Transportstrecke. Einen großen Einfluß können ausüben der Zustand der Wege, Hindernisse, die Steigung des Transportweges, die Ausnutzung der Schwerkraft, die Verkehrsdichte und die Umgebung des Förderweges[2]. Vor allem aber entscheidet die Ausnutzung der Förderkapazität über die Wahl des Transportweges. Die kürzeste Entfernung stellt dann kein Kriterium für eine optimale Ablaufplanung dar, wenn nicht gleichzeitig die Vollauslastung der Fördermittel berücksichtigt wird.

13111. Der innerbetriebliche Standort

Das Problem der Wahl relativ kürzester Verkehrswege innerhalb des Industriebetriebes ist nicht allein Gegenstand der Ablaufplanung des Förderwesens, sondern erwächst dem Betrieb bereits bei Gründung oder bei Umstellungen von Anlagen. "Die Gestaltung des Förderwesens beginnt bereits bei der Planung der gesamten Betriebsanlage, der Gebäude und der Räume, der Wege auf dem Grundstück und in den einzelnen Hallen der Werkstätten und der Büros. Wenn diese Planung nicht auf die Schaffung möglichst kurzer und leicht passierbarer Verkehrs- und Förderwege Rücksicht

---

[1] Dieser Fall wird später eingehender behandelt.

[2] Mellerowicz spricht in diesem Zusammenhang von dem relativ kürzesten Transportweg. Betriebswirtschaftslehre der Industrie, a.a.O., S. 253.

nimmt, ist bereits eine wichtige Voraussetzung wirtschaftlichen Förderns im wahrsten Sinne des Wortes 'verbaut' "[1]. Das Transportwesen bildet somit einen wesentlichen Bereich der Fabrikplanung, des sogenannten plant layout[2]. Auch IMMER weist darauf hin, daß eine Hauptaufgabe des Förderwesens darin besteht, die Fehler einer schlechten Fabrikplanung zu uberwinden[3]. Der innerbetriebliche Standort - und darum handelt es sich bei der Fabrikplanung - ist im wesentlichen transportkostenorientiert, daher sind Transportwesen und innerbetriebliche Standortwahl sehr eng miteinander verknüpft. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, wollte man die transportwirtschaftlichen Bedingungen für die Fabrikplanung im einzelnen aufführen. Daher seien hier nur die grundsätzlichen Aufgaben des Transportwesens bei den verschiedenen Arten der Fabrikplanung aufgezeigt. Das Handbuch des Industrial Engineering[4] nennt drei klassische Arten der Fabrikplanung. Erstens das Prinzip der ortsgebundenen Bearbeitung des Werkstoffes. Hier besteht die Hauptaufgabe des Transportes in der Beförderung von Betriebsmitteln, Werkzeugen und Arbeitskräften zum Entstehungsort des Erzeugnisses hin und zu den Ausgangspunkten (Lager, Garagen, Mannschaftsräume usw.) wieder zurück. Als mögliche Formen der Transportweggestaltung bieten sich an: 1. der Pendelverkehr zwischen Empfangsort (hier Montageort) und Absenderort (z.B. Lager), 2. Streckenfahrten zwischen verschiedenen Ladestellen und dem Montageort, 3. Rundfahrten zwischen allen Ladestellen und dem Montageort. Die Be- oder Verarbeitungsstelle hat ihren optimalen Standort dann, wenn alle Lager - im weitesten Sinne des Wortes, also nicht nur Sachmittellager - auf einem Kreis relativ kleinsten Durchmessers um die Montagestelle herum liegen.

---

[1] Refa-Buch, Band 1, a.a.O., S. 27.

[2] Plant layout umfaßt die räumliche Anordnung industrieller Anlagen. Industrial Engineering Handbook; a.a.O., S. 7-26.

[3] Immer, J.R.; Materials Handling; a.a.O., S. 24.

[4] a.a.O., S. 31-32.

Als zweite Art der Fabrikplanung wird die Planung nach dem Verrichtungsprinzip genannt. Der Materialfluß ist dabei zeitlich und räumlich unregelmäßig. Da keine Homogenität zwischen dem räumlichen und zeitlichen Hintereinander des Produktionsablaufes besteht, läßt sich der Wunsch nach einem optimalen innerbetrieblichen Standort nur selten verwirklichen. Im Gegensatz zur ortsgebundenen Verarbeitung, bei der die architektonische Planung einen wesentlichen Einfluß auf die Länge der Transportwege ausübt, entscheidet im Falle des Verrichtungsprinzips planerisches Geschick über die wirtschaftliche Gestaltung des Transportwesens.

Einfacher stellt sich die Planung des Transportwesens für die dritte Art der Fabrikplanung: nach dem Flußprinzip. Die Transportbedürfnisse sind dabei nach Ort, Zeit und Quantität für einen großen Zeitraum bekannt, womit sich dem Transportwesen eine starre Ablaufplanung erlaubt, die im Idealfalle Transport und Produktion räumlich und zeitlich vereint. Der optimale innerbetriebliche Standort ist gegeben, wenn sich ein Arbeitsgang räumlich und zeitlich unmittelbar an den anderen anschließt und wenn sich die Lager in den jeweils kürzesten Entfernung zum Bearbeitungsort befinden.

Jede der drei genannten Arten der Fabrikplanung bedeutet hinsichtlich eines reibungslosen Fertigungsplanes verschiedene Anforderungen an den Innentransport. Das jeweilige Erzeugungsverfahren bestimmt die Rahmenplanung des Transportes. Andererseits stellt das Förderwesen seinerseits Anforderungen an die Fabrikplanung mit dem Ziel, die baulichen Voraussetzungen für einen schnellen, kürzesten und wirtschaftlichen Transport schaffen. "Es gibt nun Betriebe, bei denen diese Forderungen an die bauliche Gestaltung der Betriebsgebäude die Voraussetzung für wirklich wirtschaftliche Fertigung bilden. Dabei können lange Transportwege den Zwang zu einer solchen Gliederung und Aufteilung der Werksanlagen verstärken, besonders dann, wenn besonders schwere oder sperrige Stücke in die verschiedenen Be-

arbeitungswerkstätten befördert werden müssen"[1].

Die Anpassung des Förderwesens an die eigentliche Erzeugung ist dabei nur e i n Problem. Daneben stehen die Bemühungen, auch die der Fertigung nur mittelbar dienenden Transportvorgänge unter Kontrolle zu bringen. Die Dezentralisation des Lagerwesens, die Frage nach optimalen Standorten von Aufenthaltsräumen, Lohnabteilungen, Werkstattbüros, Sanitätsräumen, die Verlegung von Telefonkabeln oder Rohrpostleistungen, selbst das Aufstellen von Automaten für Erfrischungen u.a.m. sind nur einige Beispiele für die Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Fabrikplanung und Transportplanung[2].

---

[1] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 64.

[2] Die Minimierung von Transportwegen und/oder -zeiten vermag sich oft nur im Detail zu vollziehen. Das Handbuch des Industrial Engineering (Teil VII, S. 38-40) nennt folgende Überlegungen, die die Fabrikplanung beeinflussen können:
Arbeitsfluß. Wird das Flußprinzip
1. bei allen Materialien innerhalb der ganzen Fabrik
2. für wenigstens einen Teil der Arbeitsfolge
3. für eine Gruppe von Teilen, Erzeugnissen oder Aufträgen
4. von Arbeitsbereich zu Arbeitsbereich angewendet?
Verringerung unnötiger und unwirtschaftlicher Materialbewegung
1. Wird der erste Arbeitsvorgang dort beendet, wo der nächste beginnt?
2. Wird das Werkstück dort abgelegt, wo es der nächste aufnimmt?
3. Wird das Einlegen und Herausnehmen mit dem Fördern gekoppelt?
4. Wird die Schwerkraft genutzt?
5. Wird die einfachste Art von Fördereinrichtungen benutzt?
6. Ist überprüft worden, ob stets das Ziel der rationellsten Förderung erreicht wurde, insbesondere ob a. kein Hin- und Hertransportieren entsteht und sich keine Förderwege kreuzen, b. kein Umladen erforderlich ist, c. kein Durcheinander, keine Verzögerungen, kein unbequemes Aufnehmen oder Abstellen vorkommt, d. nicht weit getragen zu werden braucht. e. kein unnötiges Fördern von Hand auftritt, f. die Arbeitskräfte oder das Material nicht der Gefahr von Schäden ausgesetzt werden, g. übermäßige körperliche Anstrengungen ausgeschaltet sind, h. die Fördermittel stets voll ausgelastet sind, i. keine zeitraubende Auflade- und Abladearbeit entsteht, k. keine überflüssigen oder nicht zum Ganzen passenden Transportmittel vorhanden sind?
Es sollte geprüft werden, ob das Fördern nicht kombiniert werden kann
1. mit Bearbeitungs- oder Einspannvorgängen,
2. mit Prüf- oder Wiegevorgängen,
3. mit Haltevorgängen,
4. mit der Festlegung des Arbeitstempos,

(Fortsetzung der Fußnote nächste Seite)

14. Planungsunterlagen

Eine Planung bedarf fundierter schriftlicher Unterlagen. Es ist daher erforderlich, die Transportbedürfnisse in irgendeiner Form zu fixieren. Für die Planung der Transportwege empfiehlt sich eine graphische Darstellung, welche die Richtungen des Personen- und Güterstromes und seine Dichte deutlich macht. Der zeitliche Fahrplan bedarf einer genaueren Spezifikation. Die VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen hat einige Verfahren zur Durchführung von Ablaufstudien entwickelt, von denen besonders der VDI/AWF Materialflußbogen zu nennen ist. Jeder Produktionsvorgang wird darauf in seine Bestandteile Bearbeitung, Handhabung, Transport, Prüfung, Aufenthalt und Lagerung untergliedert, aufgeführt und mit den Daten Fördermenge, Entfernung, Fördermittel, Arbeitskräfte und Zeiten versehen. Die Auswertung solcher Materialflußbogen, die nicht nur der Ermittlung des Ist-Zustandes dienen, sondern sich auch als Soll-Vorgabe eignen, läßt erkennen, in welchem Verhältnis die übrigen Vorgänge zum eigentlichen Bearbeitungsvorgang stehen und bietet somit Ansatzpunkte zur Rationalisierung unwirtschaftlicher Prozesse. Der Mangel des Materialflußbogens - als Planungsinstrument - besteht in dem Fehlen eines zeitlichen

---

Fortsetzung zu Fußnote S. 69

5. mit dem Ablösen oder Auswechseln der Arbeitskräfte
6. mit dem automatischen Beschicken oder Ausstoßen mit Hilfe einer Vorrichtung, daß das Material a. sicher, b. termingemäß, c. in der richtigen Reihenfolge, d. ohne, daß unterwegs etwas verlorengeht, e. ohne, daß es beschädigt wird oder Menschen in Gefahr bringt, f. leicht zu übersehen, zu überprüfen und zu zählen ist, g. unabhängig von der Achtsamkeit der Arbeitskräfte oder dem zeitlichen Zusammenwirken von Arbeitskräften an den Bestimmungsort gelangt.

Ist für die Förderung stets genügend Raum vorhanden
1. in den Gängen?
2. nach oben?
3. nach unten?
4. außerhalb der Gebäude?

Fördereinrichtungen
1. Sind alle in Betracht kommenden Fördermittel und ihre Leistung untersucht worden?
2. Wieviel Fördermittel sind jeweils erforderlich?

Firma / Werk / Kostenstelle

VDI/AWF-Materialflußbogen Nr.

Blatt Nr.

gehört zu

Bearbeiter | Datum

Gegenstand der Untersuchung

Jetziges Verfahren | Vorschlag

Lfd. Nr.	Vorgang	Bewegen: Bearbeiten	Handhaben	Transportieren	Prüfen	Aufenthalt	Lagerung	Fördermenge: Zahl	Fördermenge: Einheit	Entfernung in m: →	Entfernung in m: ↕	Fördermittel	Arbeitskräfte: Zahl	Arbeitskräfte: Lohngr.	Arbeitskräfte: Art	Fortschritteil	Einzelzeiten in: Bearbeiten	Bewegen: Handhaben	Bewegen: Transportieren	Prüfen	Aufenthalt	Lagerung	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Summe / Übertrag																						

Nr.

Zu beziehen durch Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin und Köln

Alle Rechte vorbehalten © VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1961

Fahrplanes, der sich jedoch ohne Schwierigkeit einarbeiten ließe[1].

2. Organisation

20. Grundsätzliches zur Organisation

"Während nun Planung lediglich den Entwurf einer Ordnung bedeutet, nach der sich das betriebliche Geschehen vollziehen soll, stellt Organisation ihrem Wesen nach dem Vollzug, die Realisierung dieser Ordnung dar"[2].

Den konkreten Inhalt der Organisation bilden "Regelungen"[3], die generell oder fallweise zu treffen sind[4]. Fallweise Regelungen betreffen Sachverhalte, die HENNIG als Disposition und Improvisation bezeichnet[5]. Ob im innerbetrieblichen Transportwesen generelle oder fallweise Regelungen vorherrschen oder ob und in welcher Weise das "Substitutionsprinzip der Organisation"[6] wirksam wird, hängt von dem jeweiligen Transportverfahren und damit vom Erzeugungsverfahren ab. Generell kann die Aussage gemacht werden, daß kontinuierliche Produktionsprozesse allgemein gültige, einmalige organisatorische Entscheidungen zulassen, während diskontinuierliche Fertigungsverfahren elastischer Regelungen bedingen.

21. Zentralisiertes oder dezentralisiertes Transportwesen

Die Organisation ist ein Derivativ des Faktors Geschäfts- und

---

[1] Zum Formularwesen des Materialflusses sei besonders auf die Arbeitsunterlagen von H. Slatosch hingewiesen: Materialfluß untersuchungen im Betrieb, Stuttgart 1956.

[2] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 169.

[3] Lohmann, M.; Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 3. Aufl., Tübingen 1959, S. 235.

[4] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 172.

[5] Hennig, K.W.; Betriebswirtschaftliche Organisationslehre, 3. Aufl., Berlin - Göttingen - Heidelberg 1957, S. 8.

[6] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 175 "Die Tendenz zur generellen Regelung nimmt mit abnehmender Veriabilität betrieblicher Tatbestände zu".

Betriebsleitung[1]. Träger und Gestalter der Betriebsorganisation sind Personen, die von der Geschäfts- und Betriebsleitung mit Lenkungs- und Leitungsbefugnis ausgestattet sind.

Daß der innerbetriebliche Transport einer Organisation bedarf - die ihm im Verein mit der Leitung, Planung und Kontrolle erst zu einer eigenständigen Produktionsart erhebt - bedarf keiner Frage. Das organisatorische Problem besteht darin, einen geeigneten Modus für die Festlegung der Verantwortungsbereiche zu schaffen. Transportleistungen werden in allen Bereichen, in jeder Abteilung erbracht. So kann das Förderwesen gesehen werden als Arbeitsstellentransport, Werkstatttransport und Betriebstransport. Es gibt eine Reihe von Transportverrichtungen, die sich nur innerhalb der räumlichen Grenzen dieser Bereiche vollziehen. In der Regel aber ist der Transport das Abteilungen verbindende Glied innerhalb eines Betriebes. Wenn sich also die Frage nach der Delegation der Verantwortung für das Förderwesen erhebt, so wird gleichermaßen das der Organisation inhärente Problem der Zentralisation oder Dezentralisation aufgeworfen. Beide Begriffe beinhalten sowohl organisatorisch-räumliche als auch verwaltungsmäßige Gesichtspunkte[2]. Räumliche Dezentralisation bzw. Zentralisation des Förderwesens liegt vor, wenn die Grenzen des Transportvollzuges mit denen einer bestimmten Betriebsabteilung bzw. des ganzen Betriebes übereinstimmen, d.h. wenn sich ein Fördermittel nur innerhalb eines festgelegten Teilbereiches oder innerhalb des gesamten Betriebes bewegt. Welche Art dieser beiden konträren Organisationsgesichtspunkte gewählt wird, hängt von dem jeweiligen Erzeugungsverfahren ab. Stellt ein Betrieb seine Erzeugnisse nach dem Flußprinzip her, so ist das Fördermittel (z.B. Fließband) räumlicher Bestandteil mehrerer Abteilungen. Bei intermittierenden Erzeugungsverfahren (Werkstattfertigung) kann sich das Betätigungsfeld eines Fördermittels auf eine Abteilung beschränken. In der

---

[1] S. Gutenberg, E.; a.a.O., S. 4.

[2] Vgl. Lohmann, M.; a.a.O., S. 237.

Praxis findet man häufig beide Formen nebeneinander. Die Tendenz zur räumlichen Zentralisation nimmt mit steigender Integration der Betriebsabteilungen zu.

Die Begriffe Zentralisation und Dezentralisation als Verwaltungssystem[1] beinhalten die Abgrenzung der Zuständigkeits- und Verantwortungsbereiche. Sie sind von der Frage nach zentraler oder dezentraler räumlicher Anordnung weitgehend unabhängig.

Für das Förderwesen ergeben sich daraus folgende Variationen räumlicher und verwaltungsmäßiger Gesichtspunkte:

Leistungsbefugnis	räumliche	
	Dezentralisierung	Zentralisierung
dezentralisiert	Transportmittel unterstehen der Abteilung Transport als Nebenaufgabe	Transportmittel Bestandteil des ganzen Betriebes, untersteht Abteilungen, Nebenaufgabe
zentralisiert	Transportmittel an Abteilung gebunden aber der Transportzentrale unterstellt. Transport als Hauptaufgabe	Transportmittel Bestandteil des ganzen Betriebes, untersteht Transportzentrale, Hauptaufgabe

Tabelle 3

Der Vollständigkeit halber sei noch auf eine besondere Weiterentwicklung der Dezentralisation hingewiesen: auf die pretiale Betriebslenkung[2]. Obwohl es auf den ersten Blick sinnvoll erscheinen mag, die in einzelnen Abteilungen überschüssigen Förderkapazitäten anderen Abteilungen zu verkaufen bzw. Transport-

[1] S. Lohmann, M.; a.a.O., S. 237.

[2] Schmalenbach, E.; Pretiale Wirtschaftslenkung, Bremen - Horn 1947.

leistungen für den Spitzenbedarf zu kaufen, muß die pretiale Betriebslenkung als Organisationssystem für das Förderwesen abgelehnt werden. Durch sie würde der Transport zum Selbstzweck. Allein das Vorhandensein nicht ausgenutzter Transportkapazität bedeutet eine Fehlplanung des Förderwesens. Transportleistungen im freien Wettbewerb zu verkaufen, setzt Preis- oder Mengenanpassung voraus. Der Transport darf beides nicht: er handelt unter dem Postulat der Preis- (d.h. Kosten-) und Mengen- (d.h. Zahl der Transporte, Weglänge etc.) Minimierung.

22. Bedeutung und Aufgaben einer Transportzentrale

Daß der innerbetriebliche Transport in der Praxis oft eine stiefmütterliche Behandlung erfährt, liegt nicht zuletzt an der Unterbewertung organisatorischer Gesichtspunkte[1]. Ist das Förderwesen verwaltungsmäßig dezentralisiert, so stellt die Erbringung von Transportleistungen für die entsprechende Betriebsabteilung eine (zusätzliche) Nebenaufgabe dar, die nicht selten ohne den notwendigen Einsatz und die erforderliche Fachkenntnis gehandhabt wird. Will man die Verantwortung für den Transport aus ihrer Lage als Anhängsel der Leitungsfunktion der Abteilungsleiter herausbringen, so empfiehlt sich die Schaffung einer zentralen Transportabteilung. "Die Frage, ob die Verantwortung für den Materialfluß zentral oder dezentral sein soll, kann nur zugunsten der Zentralisation entschieden werden. Das folgt daraus, daß der Materialfluß das ganze Unternehmen betrifft"[2]. Für die Transportzentrale stellt die Funktion Transport die einzige Aufgabe dar, ihr Einsatz erstreckt

---

[1] Aus einer Befragung von zwölf Industrieunternehmen durch D. Köhler (Organisation der innerbetrieblichen Materialbewegung, Berlin 1959) geht hervor, daß sechs Betriebe über eine zentrale Transportstelle verfügen, wovon wiederum die Hälfte von einem nur für den Transport Verantwortlichen geleitet wird. Den übrigen drei stehen jeweils die Leiter des Baubüros, der Betriebswerkstatt und der Terminplanung vor.

[2] Kortzfleisch, G.v.; Wirtschaftliche Produktion durch plangerechten Materialfluß, in: Planung und Steuerung des Materialflusses in Fertigbetrieben, Veröffentlichung der VDI/AWF Fachgruppe Förderwesen, S. 7.

sich auf den gesamten Innenbereich des Betriebes. Das erlaubt ihr eine über die Kompetenzgrenzen der Abteilungen hinausgehende, koordinierte Gestaltung des Transportgeschehens. Auch HENNIG[1] plädiert für eine Innenförderstelle, für die er folgende Aufgaben vorsieht: Fortentwicklung des Förderwesens, Mitwirkung bei der Instandhaltung der Fördermittel und Förderwege, Aufstellung und Verbesserung der Förderpläne, Auswahl und Ausbildung der im Förderwesen eingesetzten Mitarbeiter, Mitwirkung bei der Kostenplanung und Kostenkontrolle.

Die Tendenz zur Zentralisation wächst mit zunehmender Betriebsgröße und/oder der Diskontinuierlichkeit der Erzeugungsverfahren. Besonders in Betrieben mit einem relativ hohen Fördermittelbestand und unregelmäßig anfallendem Transportbedarf vermag nur eine zentrale Transportstelle eine optimale Ausnutzung der Förderkapazitäten zu gewährleisten. Die dezentrale Leitung des Innentransportes dagegen kann zur Überdimensionierung des Transportmittelbestandes (Abteilungsegoismus), zur Verkennung transportwirtschaftlicher Probleme, zur Vernachlässigung von Rationalisierungsmaßnahmen, zur Unterlassung von Wartung und Reparaturen an den Fördermitteln und vor allem zu einer mangelhaften Koordinierung des Verkehrs zwischen den Abteilungen führen.

Mögliche Nachteile einer Transportzentrale liegen in einer starren Organisation dieser Abteilung. Gerade im Bereich des innerbetrieblichen Transportes spielt das Element der Improvisation eine tragende Rolle. Reagiert der Verwaltungsapparat der Transportzentrale als Folge einer zu wenig flexiblen Planung nur schwerfällig auf einen unvorhergesehenen Transportanfall oder den Ausfall eines Betriebsmittels, so entstehen zeitraubende Engpässe, die sich auf den gesamten Produktionsablauf auswir-

---

[1] Betriebswirtschaftslehre der industriellen Erzeugung, a.a.O., S. 123.

[2] So bezeichnet auch H. Böhrs das Transportieren jeglicher Art als eine Funktion, dessen Zentralisation als unumgänglich gelten kann, wenn durch zusammenfassenden Vollzug eine größere Wirtschaftlichkeit erzielt wird. A.a.O., S. 124.

ken können. Eine umsichtige Transportleitung muß diesem Faktor Rechnung tragen und über entsprechende Anpassungsmaßnahmen verfügen. Die Möglichkeit der Anpassung an den wechselnden Transportbedarf innerhalb des Betriebes - und zwar intensitätsmäßig durch die Variation der Geschwindigkeit oder der Überbelastung eines Fahrzeuges, zeitlich durch Veränderung seines zeitlichen Einsatzes oder quantitativ durch ein Reservoir an Fördermitteln und/oder Förderpersonal - bildet überhaupt ein weiteres Argument für die Schaffung einer zentralen Transportstelle. Besonderes Gewicht muß dieser Stelle auch dann zuerkannt werden, wenn es um Fragen der Fabrikplanung (Transportwege), der Produktgestaltung (transportgerechte Gestaltung des Erzeugnisses und seiner Teile) und der Erzeugungsverfahren geht. Fehlt bei grundsätzlichen Entscheidungen über diese Probleme der Transportfachmann, so begibt sich der Betrieb der Möglichkeit, die Rationalisierungsreserven, die besonders im Bereich des Förderwesens liegen, auszuschöpfen.

Zusammenfassend läßt sich folgender Katalog der Aufgaben einer zentralen innerbetrieblichen Transportabteilung aufstellen:

1. Planung des Transportwesens
   a. Bereitstellungsplanung von Fördermitteln, Förderhilfsmitteln und Förderpersonal einschließlich Instandhaltung von Transportmitteln und -wegen
   b. Ablaufplanung des Innentransportes
   c. Mitgestaltung der Fabrikplanung, der betrieblichen Programm- und Ablaufplanung
   d. Planung der Transportkosten

2. Organisation des Transportwesens
   Verwirklichung der durch die Planung vorgezeichneten Ordnung, und zwar
   a. Aufbau und Leitung der Transportabteilung
   b. Leitung, Anleitung, Entlohnung usw. des Transportpersonals
   c. Unmittelbare Verfügungsgewalt über Transportpersonal und Transporteinrichtungen
   d. Prüfen von Rationalisierungsmaßnahmen
   e. Ermittlung der Ist-Kosten, Auswertung des Soll-Ist-Vergleichs
   f. Wirtschaftlichkeitsanalysen

3. Kontrolle des Transportwesens
   a. Überwachung der Einhaltung der Planung als Einsatz- und Ablaufüberwachung
   b. als technische Überwachung der transportwirtschaftlichen Produktionsfaktoren und der Transportwege
   c. als Kostenüberwachung
   d. als Sicherheitsüberwachung

Wenn man auch schwerlich wie SOOM[1] der Meinung sein kann, daß die Zusammenfassung des gesamten Transportwesens in jedem Betrieb, ganz gleich, wie er geartet ist, "ob groß oder klein, gleich welcher Branche" der "wichtigste und wohl auch allgemeingültigste" Grundsatz ist, so zeigt sich doch, daß besonders in Betrieben, in denen das Substitutionsprinzip der Organisation im entsprechenden Maße gilt, durch die Zentralisation des Transportwesens unter Umständen eine bessere Ausnutzung der im Förderwesen tätigen Mitarbeiter und der Fördermittel erreicht werden kann. Auch STOCKER[2] stellt aufgrund jahrelanger Beobachtungen fest, daß die besten Resultate erzielt werden, wenn man alle Materialbewegungen unter der Kontrolle eines Materials handling Department bringt.

23. Die Stellung der Transportzentrale im Rahmen des Gesamtbetriebes

Die Schaffung einer innerbetrieblichen Transportabteilung wirft die Frage nach ihrer personellen Besetzung und Organisationsform auf. HENNIG[3] schlägt für die Leistung der Innenförderstelle einen Materialflußingenieur vor. Dieser Forderung kann zugestimmt werden, weil die Durchführung des Transportes ein technischer Prozeß ist. Andererseits besteht eine wesentliche Aufgabe der Transportabteilung in der Minimierung von Transportkosten und -zeiten, was wiederum organisatorisches Geschick und ein ausgeprägtes Gefühl für Kosteneinsparung und Rationalisierungsmaß-

[1] Soom, E.; Organisation des Transportwesens, Industrielle Organisation 1954, S. 57.

[2] Materials Handling; a.a.O., S. 309.

[3] Hennig, K.W.; a.a.O., S. 123.

nahmen verlangt, Fähigkeiten also, die dem Betriebswirt eigen sind. Die Ergänzung von Kaufmann und Techniker, stellt hier den notwendigen Kompromiß dar.

Innerhalb der gesamten Betriebsaufbauorganisation kann die Transportabteilung 1. in ein Liniensystem, 2. in ein Funktionssystem, 3. in ein Stabliniensystem eingeordnet sein[1]. Liniensystem liegt vor, wenn die Transportzentrale Weisungen nur von einer übergeordneten Stelle empfängt und an ihre Unterabteilungen verteilt. Bei dem Funktionssystem sind mehrere Stellen berechtigt, der Transportabteilung Weisungen zu erteilen, während diese ihrerseits Befehle an andere Abteilungen geben kann. Bildet die Transportzentrale eine Stabstelle, so sind ihr keine Anweisungsbefugnisse gegeben. Der Forderung nach einer zentralen Transportgestaltung entsprechend findet die Transportstelle ihren Standort innerhalb eines Linien- oder eines Stabliniensystems. Auf diese Weise entgeht sie einer Befehlskonkurrenz der verschiedenen Abteilungen. Da der Transport eine der Erzeugung dienende Hilfsfunktion darstellt, steht ihm eine Weisungsbefugnis über fremde Abteilungen nicht zu. Damit erhält die Transportstelle ihre, gesamtbetrieblich gesehen, günstigste Position als Stabstelle der Betriebsleitung, und zwar der technischen Betriebsleitung[2].

24. Der organisatorische Aufbau einer Transportzentrale

Über den Aufbau der Transportabteilung selbst lassen sich keine detaillierten Angaben machen. Die transportlichen Gegebenheiten eines jeden Betriebes bedürfen, bedingt durch Art und Menge der Erzeugnisse, durch Produktionsverfahren und innerbetriebliche Standortfaktoren jeweils einer speziellen Organisation. Einige mögliche Organisationsschemata seien aufgezeigt. Das Production

---

[1] Organisationstypen u.a. bei Gutenberg, E.; a.a.O., S. 186.

[2] Diese Konstellation ist bei den von Köhler befragten 12 Betrieben nur in zwei Fällen gegeben, a.a.O., S. 70 und 79.

Handbook[1] hält folgenden Aufbau einer zentralen Transportstelle in vielen Unternehmungen für praktikabel:

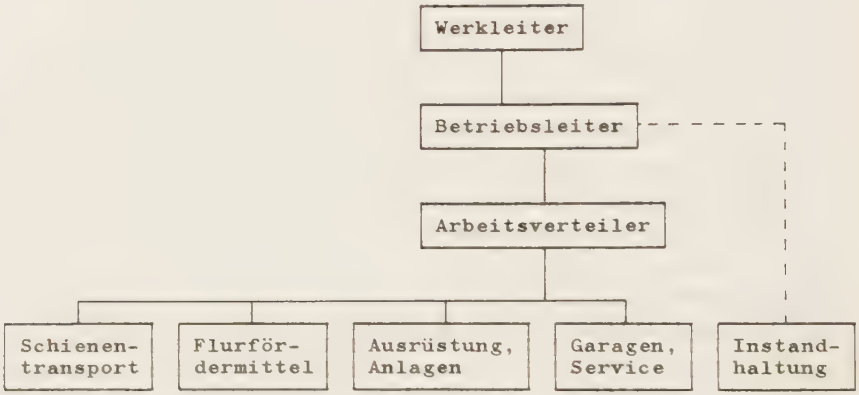


Abbildung 17

Bei IMMER[2] finden wir dieses Tableau um die Unterabteilung Instandhaltung erweitert (gestrichelte Linie). Nur einer, der von KÖHLER befragten Betriebe, hat in seiner Aufbauorganisation auch der kaufmännischen Seite des Förderwesens Rechnung getragen.

In größeren Betrieben mit verschiedenartigen Transportsystemen erscheint es sinnvoll, die Aufgaben- und Verantwortungsbereiche nach Art der Fördermittel zu trennen. Unter Einbeziehung aller in der Transportabteilung zu leistenden Aufgaben ergibt sich dann das folgende Schaubild einer möglichen Abteilungsgliederung:

---

[1] a.a.O., S. 308.
[2] a.a.O., S. 79.

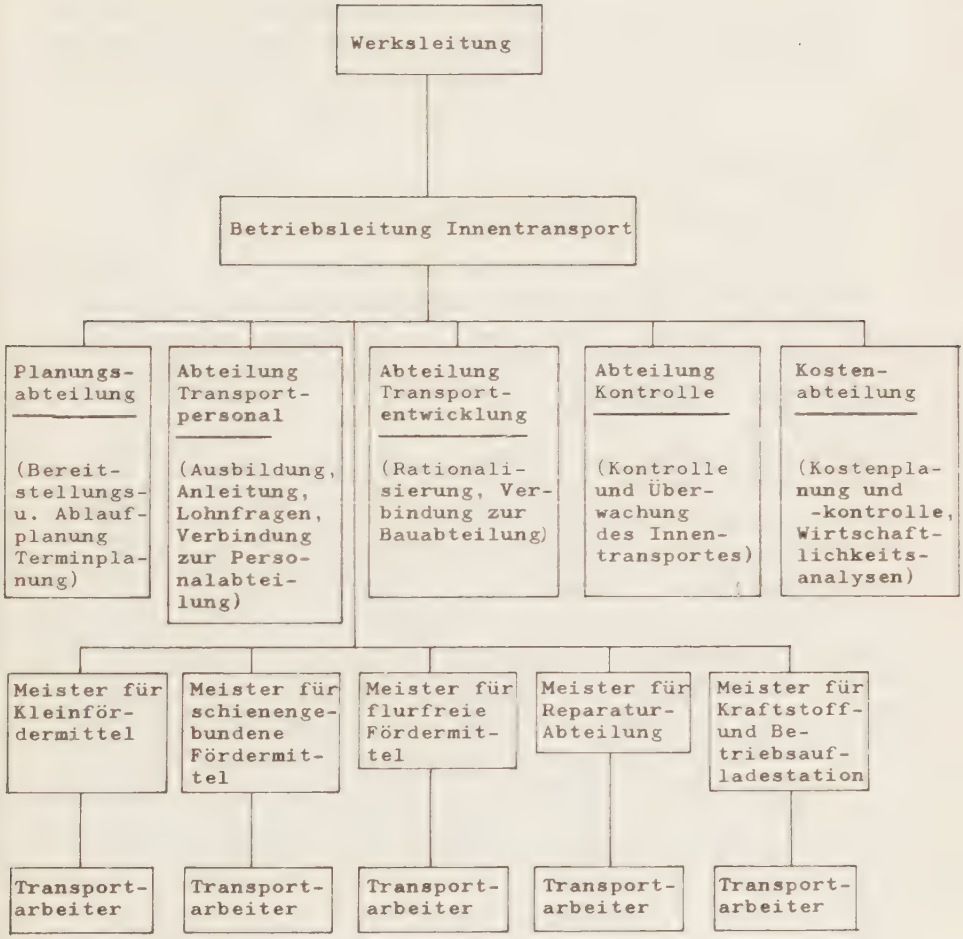


Abbildung 18

Die Befehlswege innerhalb der Transportabteilung müssen kurz sein. Der Grundsatz der Elastizität des Förderwesens verlangt oft schnelle Entscheidungen, will man unnütze Wartezeiten oder Stokkungen im Produktionsablauf vermeiden. Dieser Forderung kann da-

durch Genüge geleistet werden, daß man den Fahrern von Transportmitteln und den anderen Transportarbeitern ein entsprechendes Maß an Eigenverantwortung zugesteht.

3. Kontrolle

30. Kontrollfunktionen im Transportbereich

Eine Planung ist wirtschaftlich nur sinnvoll, wenn im nachhinein festgestellt wird, ob das Geplante Wirklichkeit geworden ist. Die Kontrolle bildet somit die notwendige Ergänzung zur Planung; obwohl "Planen und Überwachen völlig voneinander verschiedene Tätigkeiten"[1] sind.

Die Kontrolle kann in zwei Phasen durchgeführt werden, einmal in Form der beobachtenden Tätigkeit eines sich vollziehenden Vorganges als Überwachung, zum anderen in Form einer retrograden Prüfung der Verwirklichung des aufgestellten Planes als Planungskontrolle. Stellt die Kontrolle Abweichungen von dem vorgegebenen Programm fest, so können diese entweder in einer mangelhaften Durchführung des Gewollten begründet sein oder auf falschen Planungsdaten beruhen. Im ersten Fall ist zu prüfen, auf welche Weise das betriebliche Geschehen der Planung angepaßt werden kann, während im zweiten Fall der Plan geändert werden muß. Die Überwachung stellt dabei die kürzeste Verbindung zwischen Plan und Wirklichkeit dar, welche durch sie eine unmittelbare Anpassung aneinander erfahren können.

Eine Kontrolle - gleich welcher Art - gibt Auskunft über den Erfolg einer Leistung. Da der innerbetriebliche Transport eine der Erzeugung dienende Funktion ausübt, müßte seine Aufgabe zufriedenstellend gelöst sein, wenn er die transportlichen Voraussetzungen zu einem reibungslosen Produktionsablauf schafft. Da jedoch der Transport wie jede betriebliche Funktion unter dem Postulat der Wirtschaftlichkeit steht, kommt als weiteres

[1] So auch Gutenberg, a.a.O., S. 169.

Kriterium für den Erfolg des Transportwesens die Bedingung des Handelns nach dem ökonomischen Prinzip hinzu. Als Maßgröße stehen dabei die Transportkosten zur Verfügung. Der Vergleich von Ist- und Sollkosten gestattet eine konkrete Antwort auf die Frage nach der Wirtschaftlichkeit verschiedener Transportverfahren. Diese Zusammenhänge werden in dem Kapitel über die Transportkosten eingehender dargestellt.

31. Die Überwachung transportlichen Geschehens

Wenden wir uns also der "laufenden" Kontrolle, der Überwachung, zu, die mehr als die Planungskontrolle geeignet ist, Aufschluß über den Beschäftigungsgrad des Förderwesens zu geben besonders deshalb, weil die Aufstellung eines detaillierten Anlaufplanes, wie es eine Planungskontrolle erfordern würde, nur in wenigen Fällen möglich ist. Wie für den Materialfluß, so gilt auch für das Transportwesen allgemein das Multimomentverfahren als am besten geeignet für die Überwachung von Transportvorgängen[1]. Dieses Verfahren beruht auf Stichproben, die in unregelmäßigen Abständen bei den einzelnen Transportmitteln vorgenommen werden. Als Ergebnis der Erhebung wird der augenblickliche Zustand der Transportmittel, Transportgüter und des Transportpersonals in entsprechende Listen eingetragen. "Entsprechend dem Beobachtungszweck sind die beobachteten Zustände gegeneinander abgegrenzt; z.B. Maschine produziert, Maschine wird umgestellt, Maschine wartet auf Material usw.[2], oder auf das Förderwesen bezogen: Fördermittel fährt leer, Transportgut wartet auf Abholung, Förderarbeiter X stapelt mit der Hand auf.

Das Multimomentverfahren geht auf den Engländer TIPPET zurück[3], der es erstmalig 1935 anwendete. Unter der Bezeichnung ratio-delay study ist es seit 1940 in den USA bekannt, wo es später

---

[1] Vgl. Kortzfleisch, G. v.; Wirtschaftliche Produktion durch plangerechten Materialfluß, a.a.O., S. 7.

[2] ebenda.

[3] Siehe Production Handbook, a.a.O., S. 514.

den Namen work sampling erhielt[1]. Es benötigt kein besonders geschultes Personal und kann überall dort eingesetzt werden, wo eine Totalerhebung zu aufwendig oder nicht erforderlich ist.

Das Multimomentverfahren beruht wie jedes andere Stichprobenverfahren auf dem Gesetz der Wahrscheinlichkeit, d.h. auf der Annahme, daß sich die statistische Wahrscheinlichkeit mit wachsender Zahl der Beobachtungen der mathematischen Wahrscheinlichkeit nähert. Das Problem der Multimomentmethode liegt in der Anzahl der Beobachtungen, die als repräsentativ für die gesamte statistische Masse gelten kann. Die Zahl der Beobachtungen hängt ab von der geforderten Genauigkeit und dem gewünschten Vertrauensbereich der Schätzung. Mit steigender Anzahl von Beobachtungen sinken die Abweichungen vom wahren Wert. Ausgangsbasis für das Multimomentverfahren ist immer eine Schätzung, etwa in der Art, daß man annimmt, für ein bestimmtes Fördermittel betrage die Stillstandzeit 60 % der gesamten Transportmittelzeit. Wieviel Beobachtungen sind zum Beweis der Richtigkeit dieser Aussage erforderlich?

Bezeichnen wir den geschätzten relativen Anteil des gesuchten Elementes (hier: 60 % bzw. 0,6) an der Gesamtheit der Werte (100 % bzw. 1) mit p und die Zahl der Beobachtungen mit n, so läßt sich die Standardabweichung σ nach der Formel

$$\sigma = \frac{p(1-p)}{n}$$

ermitteln.

Nach der Gaußschen Normalverteilung entspricht:

Eine Sicherheit des Eintretens von 68,3 % einer Toleranz von $\pm$ 1 σ
Eine Sicherheit des Eintretens von 95,5 % einer Toleranz von $\pm$ 2 σ
Eine Sicherheit des Eintretens von 99,7 % einer Toleranz von $\pm$ 3 σ

[1] Industrial Engineering Handbook, a.a.O., S. 3-63.

Bei einer angestrebten Genauigkeit von $\pm$ 10 % beträgt für einen Sicherheitsgrad von 68,3 %σ= 0,1, bei einer gewünschten Genauigkeit von $\pm$ 3 % und einem Vertrauensbereich von 95,5 % ergibt sich 0,03 = 2σ, d.h.:

Genauigkeitsgrad als Dezimale = σ mal Vertrauensbereich.

Dazu ein Beispiel:

Es soll festgestellt werden, in welchem Verhältnis Fahrzeit und Wartezeit zur Gesamtzeit bei einem Fördermittel steht. Die Fahrzeit beträgt aufgrund von Schätzungen 70 % der Gesamtzeit, die relative Häufigkeit des Antreffens des Fahrzeuges in Bewegung also 0,7. Als Bedingung gilt, daß mit 95,5 prozentiger Sicherheit der richtige Wert innerhalb einer Toleranz von $\pm$ 5 % liegen soll. Im Sicherheitsbereich 95,5 % beträgt σ = 0,025; σ bezogen auf p beträgt

$$\sigma^* = 0{,}0175 \quad (0{,}025 \cdot 0{,}7) \quad .$$

Die Anzahl der erforderlichen Beobachtungen errechnet sich dann nach der Formel

$$n = \frac{p(1-p)}{\sigma^{*2}} = \frac{0{,}7 \cdot 0{,}3}{0{,}0175^2} = 685.$$

Es sind also 685 Beobachtungen nötig. Erscheint die Fahrzeit auf der Strichliste 230 bis 180 mal, so erweist sich unsere Annahme von 70 % innerhalb der 5%igen Toleranz als richtig.

Bei geringen Toleranzen empfiehlt es sich, die Formel

$$n = \frac{p(1-p)}{\sigma^{*2}}$$

um x als Ausdruck für die annehmbare Abweichung und y als die verlangte Genauigkeit (x = y · p)

$$n = \frac{p(1-p)}{x^2} \quad \text{bzw.} \quad n = \frac{p(1-p)}{y^2p^2} = \frac{1-p}{y^2p}$$

zu erweitern[1].

Da die Aussagekraft des Stichprobenverfahrens nicht proportional zur Anzahl der Beobachtungen, sondern nur proportional zu deren Quadratwurzeln wächst, gilt bei einem für die Praxis allgemein ausreichenden Sicherheitsgrad von 95 % für $x = 2\sigma$ die Formel

$$n = \frac{4(1-p)}{y^2 p}$$

als voll ausreichend für die Berechnung der Anzahl von Beobachtungen bei dem Multimomentverfahren.

Die Beobachtungen werden entsprechend den Erhebungsmotiven auf einer Liste notiert und ihre relative Häufigkeit errechnet.

Zustand des Fördermittels	Anteil der Beobachtungen	relative Häufigkeit
In Fahrt	n_1	$\frac{n_1}{n} = p_1$
Be- oder Entladen	n_2	$\frac{n_2}{n} = p_2$
in Reparatur	n_3	$\frac{n_3}{n} = p_3$
Wartet	n_4	$\frac{n_4}{n} = p_4$
.	.	.
.	.	.
.	.	.
	$n = \sum_{i=1}^{n} n$	$\sum_{i=1}^{n} p = 1$

Tabelle 4

[1] Vgl. Industrial Engineering Handbook, S. 3-73.

Die letzte Spalte der Tabelle 4 läßt erkennen, in welchem Verhältnis die Fahrzeit zu den Stillstandzeiten steht. Die Rationalisierung des Förderwesens hat dort einzusetzen, wo die relative Häufigkeit (außer der Fahrzeit) am größten ist.

Die Darstellung des Multimomentverfahrens als eine der möglichen Überwachungsarten mag genügen, um die Arbeitsweise der Kontrolle im Bereich des Transportwesens zu erläutern. Auf die Beschreibung der technischen Überwachung von Transportmitteln und -wegen und auf die Sicherheitskontrolle kann verzichtet werden.

V i e r t e s K a p i t e l

Die Kosten des innerbetrieblichen Transportes

1. Der Begriff der innerbetrieblichen Transportkosten

Entsprechend den verschiedenen Interpretationen des Begriffes innerbetrieblicher Transport gehen auch die Definitionen des Terminus innerbetriebliche Transportkosten in der betriebswirtschaftlichen Literatur stark auseinander. LÜCKE[1] hat die Möglichkeit der wirklichen Meßbarkeit von innerbetrieblichen Transportkosten vor Augen, wenn er sie definiert als "den wertmäßigen Güterverzehr, der mit dem Einsatz der Transportmittel anfällt". Ebenso wie bei HENZEL und VOITL[2] werden hier Transportvorgänge, bei denen gleichzeitig eine Be- oder Verarbeitung erfolgt, ausgeklammert. Nicht enthalten sind ex definitione auch solche Transportprozesse, die von anderen Betriebmitteln durchgeführt werden, wie zum Beispiel alle Ortsveränderungen von Ma-

[1] Lücke, W.; Kosten des innerbetrieblichen Transportes, Kostenrechnungspraxis, Heft 2, Juli 1957, S. 81.

[2] Vgl. Henzel, Fr.; Untersuchung der außen- und innerbetrieblichen Transportkostenanteile bei den Verbrauchsgütern, zitiert nach Voitl, W.; Der innerbetriebliche Transport, Wien 1958, S. 42.

terialien innerhalb einer Maschine. Auf die Unmöglichkeit einer in allen Fällen exakten Trennung von Fertigung und Innentransport wurde bereits eingegangen. Dieses Problem findet seinen konkreten Niederschlag in einer Diskussion über den Begriff der innerbetrieblichen Transportkosten. Je weitgefaßter die Definition des Förderwesens ist, desto umfangreicher wird auch der Inhalt des Begriffes Transportkosten, was gleichsam eine Ausdehnung der quantitativen und qualitativen Kostenerfassung zur Folge hat.

Welche Kosten in praxi als innerbetriebliche Transportkosten angesehen werden, hängt u.a. von der Struktur des Betriebes, von dem Niveau des verwaltungstechnischen Apparates und von der Bereitschaft des Unternehmers zu einer analytischen Durchdringung des Kostenproblems ab. Allgemein lassen sich die Kosten des innerbetrieblichen Förderwesens definieren als den wertmäßigen Güter- und Leistungsverzehr, der durch die Gesamtheit aller Vorgänge, die innerhalb eines Betriebes der Raumüberwindung dienen, verursacht wird.

10. Die Bestimmung der Bezugsgrößen für die innerbetrieblichen Transportkosten

Die Leistung des Innentransportes besteht in der Durchführung von Ortsveränderung konkreter oder abstrakter Güter. Wieweit sich der Wert eines Gutes durch eine Raumüberwindung überhaupt steigert, entzieht sich einer exakten Berechnung. Dagegen besteht die Möglichkeit, den Herstellkosten eines jeden Erzeugnisses die Kosten für die Summe aller Förderprozesse direkt oder indirekt zuzuschlagen. Da nun zum Zwecke der Gütererzeugung eine Vielzahl von Betriebsmitteln, Werkstoffen und Arbeitskräften zu transportieren ist, erhebt sich die Frage nach einer Maßgröße für die Bestimmung der Transportleistung. Grundsätzlich bestehen drei Möglichkeiten: Die Ermittlung der Förderleistung auf der Grundlage der Entfernung, der Zeit und des Gewichts. Allen drei Maßgrößen haften entschiedene Mängel an: Während die Bemessungsgrundlage Gewicht ein umständliches Wägen oder die Kenntnis des Gewichtes der jeweils zu transportieren-

den Materialien erfordert, sind die Entfernungen allein oft zu gering, um als Maßgröße zu dienen. Hinzu kommt, daß ein vertikaler Transport pro Entfernungseinheit einen größeren Aufwand erfordert als ein horizontaler; und schließlich besteht die Aufgabe eines Fördermittels nicht allein in der Bewältigung von Kilometern, sondern in der Beförderung von Gütern. Ähnliches gilt auch für die Zeit. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Ladegewicht und entsprechend ein indirekter zwischen Gewicht und Zeit. Wird die Zeit als Maßgröße gewählt, könnte eine Leistungssteigerung auf Kosten des transportierten Gewichtes gehen. Es empfiehlt sich daher eine Kombination der drei genannten Maßgrößen und zwar entweder in der Form Gewicht pro Entfernungseinheit (Tonnenmeter, tm) oder Gewicht pro Zeieinheit (kg/min). Beide Kombinationen beinhalten naturgemäß ein technisch nicht ganz einfach zu lösendes Zurechnungsproblem. Aus diesem Grunde werden in der Praxis die Transportkosten auf die Grundlage der Zeit bezogen. Dieses Vorgehen ist dann gerechtfertigt, wenn die Transportzeiten aufgrund von Zeitstudien oder Bewegungsdiagrammen[1] exakt ermittelt werden. Der auf die Leistungseinheit bezogene in Geld bewertete Verbrauch an Produktionsfaktoren wird dementsprechend gemessen in DM pro Zeit (DM/h), DM pro Gewichts- bzw. Volumeneinheiten (DM/t bzw. DM/hl) oder bei homogenen Transportgütern in DM pro Stück.

11. Kostentheoretische Betrachtung

Nachdem der Ertrag des innerbetrieblichen Transportwesens als kg/m oder kg/Zeit definiert worden ist, erhebt sich die Frage nach dem Rückschluß von der Ausbringung auf die Kosten. Es ist dazu notwendig, die Abhängigkeiten zwischen dem Verbrauch an Produktionsfaktoren und der technischen Leistung eines Betriebsmittels, die Verbrauchsfunktionen[2], zu kennen. Mathematisch ist die technische Leistung d definiert als der Quotient aus Anzahl der Ausbringungseinheiten b und der Zeit t $d = \frac{b}{t}$, z.B. Stück

---

[1] Vgl. dazu Voitl, W.; Der innerbetriebliche Transport, a.a.O., S. 48.

[2] Gutenberg, E.; a.a.O., S. 220.

pro Stunde, die Verbrauchsfunktion als $v_i = f_i (z_1, z_2, \ldots, z_v, d)$ d.h. die Verbrauchsmengen (v_i) sind eine Funktion der technischen Eigenschaften des Aggregates ($z_1, z_2, \ldots, z_v$) und der von dem Aggregat verlangten Leistung (d)[1].

Im Bereich des Förderwesens ist somit die Aufstellung einer bestimmten Anzahl von Verbrauchsfunktionen für jedes Fördermittel notwendig. Es soll nun an einem einfachen Beispiel dargestellt werden, wie bei gegebenen Verbrauchsfunktionen über die Faktoreinsatzfunktionen der Verbrauch an Produktionsfunktionen und im weiteren die Herstellkosten in Abhängigkeit von der Leistung eines Transportmittels ermittelt werden.

Das nachstehende Bild 19 zeigt die Veränderung von fünf Kostenarten eines Gabelstaplers bei sechs verschiedenen Belastungsstufen. Die Leistung, d.h. der Quotient aus Arbeit: Zeit wird dabei angegeben in Tonnen mal Wegeinheiten (WE) pro Stunde, wobei WE konstant ist. Die auf der Ordinate abgetragenen Werte stellen die in DM bewerteten Verbrauchsmengen dar[2].

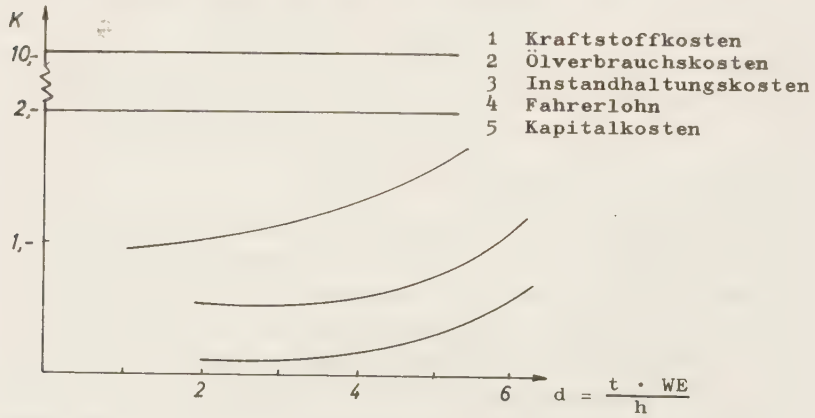


Abbildung 19

[1] Gutenberg, E.; ebenda.

[2] Die Kurven sind von uns aus der Beilage des Transportberaters Nr. 18, 2. Aufl., 1962, Selbstkosten von Flurfördermitteln, entwickelt worden.

Wie ersichtlich, steigen die Kostenarten 1 bis 3 mit zunehmender Belastung, während die Kostenarten 4 und 5 von der Leistung unabhängig sind. Summiert man alle Kurven, ergibt sich ein leicht ansteigender Gesamt-Kostenverlauf, dessen auf die Leistungseinheit ($\frac{to/WE}{h}$) bezogenen Durchschnittswerte einen zunächst fallenden, dann steigenden Verlauf haben. Das Minimum der Durchschnittskurve und damit das Leistungsoptimum liegt bei 5 Tonnen, der entsprechende Ordinatenwert beträgt 3,20 DM.

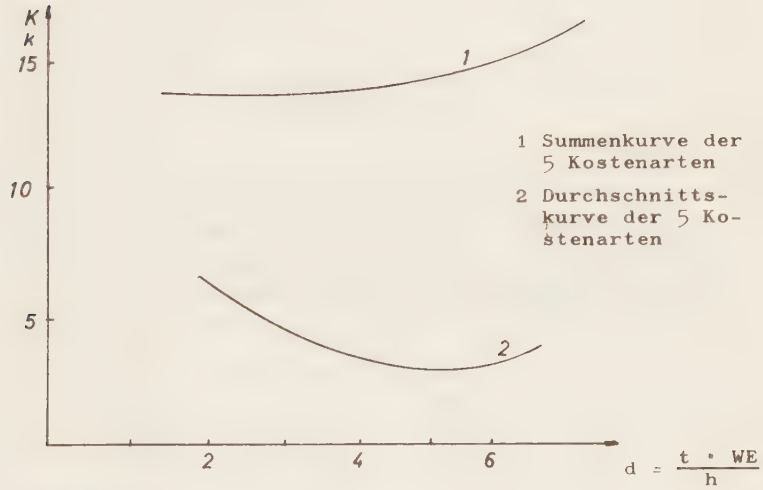


Abbildung 20

Diese globale Darstellung genügt oft nicht der geforderten Genauigkeit einer Kostenanalyse. In solchen Fällen empfiehlt es sich, jede Kostenart auf die Leistungseinheit zu beziehen. Wir nehmen an, daß das Fördermittel in der Lage ist, innerhalb einer speziellen Aufgabe bei 2000 Arbeitsstunden pro Jahr maximal 12000 Tonnen zu befördern. Die Durchschnittskosten der Kostenarten 1-3 in Abhängigkeit zur Leistung haben in der graphischen

Darstellung folgendes Aussehen:

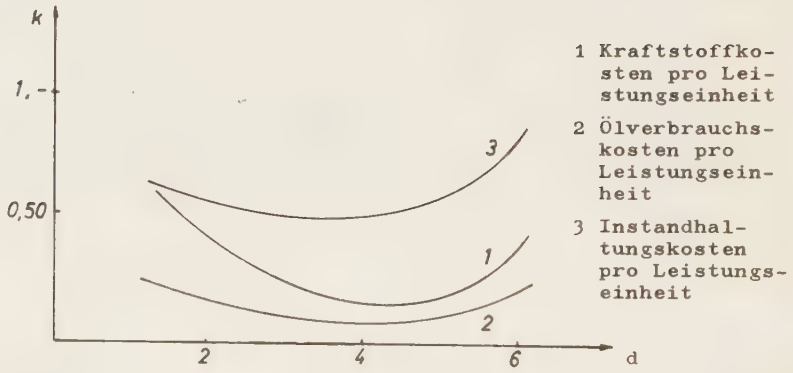


Abbildung 21

Die Lohn- und Lohnnebenkosten für den Fahrer (10 DM/h) sind von der Leistung abhängig. Die auf die Arbeitsstunde bezogene Verbrauchsfunktion verläuft prarallel zur X-Achse, während die auf Leistungseinheit umgerechneten Lohnkosten mit steigender Leistung hyperbolisch abnehmen. Ein ähnliches Bild zeigen die Kapitalkosten

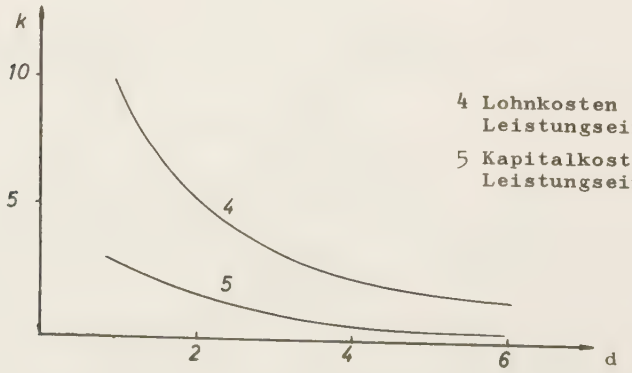


Abbildung 22

Die Summation ergibt natürlich die in Abbildung 20 wiedergegebene Durchschnittskostenkurve des Fördermittels. Wenn man aufgrund weniger Angaben[1] Kostenverläufe konstruiert, läßt sich die Lage eines lokalen Minimums nur näherungsweise bestimmen. Wir wollen daher der graphischen Lösung eine analytische anschließen, die ebenfalls auf den angeführten Kostenverläufen fußt.

Die analytische Ermittlung des Kostenminimums liefert exaktere Ergebnisse. Die Verbrauchsfunktionen 1 bis 3 sind Parabeln von der allgemeinen Form

$$\varphi_1 = a + b \cdot d + c \cdot d^2$$

Liest man für drei beliebige Punkte der Abszisse die entsprechenden Werte auf der Ordinate ab und setzt sie in die Allgemeinform ein, so erhält man aus Abbildung 21:

Kurve 1 (Abb. 21)

X_1 (3; 0,20) $\quad 0{,}20 = a + 3b + 3^2c$

X_2 (5; 0,175) $\quad 0{,}175 = a + 5b + 5^2c$

X_3 (6; 0,40) $\quad 0{,}40 = a + 6b + 6^2c$

$$a = 1{,}425 \qquad b = \frac{-3{,}875}{6} \qquad c = \frac{0{,}475}{6}$$

$$k_1 = 1{,}425 - \frac{3{,}875}{6} d + \frac{0{,}475}{6} d^2$$

Die Minimum-Bedingung lautet:

$$k_1' = - \frac{3{,}875}{6} + \frac{0{,}475}{6} d^2$$

---

[1] Die Kostenübersicht des Transportberaters gibt die variablen Kosten für drei Leistungsgrade (Belastungsgrade) an, die uns als Festpunkte der Kurven dienten.

Kurve 2 (Abb. 21)

X_1 (3; 0,08) $\quad 0{,}08 = a + 3b + 3^2c$

X_2 (5; 0,07) $\quad 0{,}07 = a + 5b + 5^2c$

X_3 (6; 0,20) $\quad 0{,}20 = a + 6b + 6^2c$

$$k_2 = 0{,}77 - \frac{2{,}19}{6} d + \frac{0{,}72}{6} d^2$$

$$k_2' = - \frac{2{,}19}{6} + \frac{0{,}72}{3} d$$

Kurve 3 (Abb. 21)

X_1 (3; 0,45) $\quad 0{,}45 = a + 3b + 3^2c$

X_2 (5; 0,55) $\quad 0{,}55 = a + 5b + 5^2c$

X_3 (6; 0,80) $\quad 0{,}80 = a + 6b + 6^2c$

$$k_3 = 1{,}30 - \frac{2{,}90}{6} d + \frac{0{,}40}{6} d^2$$

$$k_3' = - \frac{2{,}90}{6} + \frac{0{,}40}{3} d$$

Die Verbrauchsfunktionen 4 und 5 sind Hyperbeln mit der allgemeinen Form $\varphi = a \frac{1}{d}$ oder $a = \varphi \cdot d$.

Man setzt den für ein beliebiges d abgelesenen Ordinatenwert ein und erhält aus Abbildung 22 bei

Kurve 4 für $d = 5$, $k_4 = 2$: $\quad a = 10$

$$k_4 = \frac{10}{d}; \qquad k' = - \frac{10}{d^2}$$

Kurve 5 (Abb. 22)

$$k_5 = \frac{2}{d} \qquad k_5' = - \frac{2}{d^2}$$

Die Summe aller differenzierter Kurven gleich Null gesetzt, er-

gibt:

$$\sum_{1}^{h} k_i' = -\frac{8,965}{6} + \frac{1,145}{3}\, d - \frac{12}{d^2} = 0$$

Diese Gleichung 3. Grades von der Normalform

$$ax^3 + bx^2 + cx + f = 0$$

kann nach der Division durch a und der Substitution $y = x + \frac{b}{3a}$ umgewandelt werden in die Normalform

$$y^3 + 3py + 2q = 0$$

Darin ist $2q = \frac{2b^3}{27a^3} - \frac{bc}{3a^2} + \frac{f}{a}$; $3p = \frac{3ac - b^2}{3a^2}$

Durch Umformung erhalten wir für a den Wert 1, die Formel geht dann über in die Form

$$d^3 - 3,915\, d^2 - 31,44 = 0$$

Die Lösung für y ist $y = u + v$

$$u = \sqrt[3]{-q + \sqrt{q^2 + p^3}}$$

$$v = \sqrt[3]{-q - \sqrt{q^2 + p^3}}$$

In dem Beispiel erhält man:

$$q = -17,943$$
$$p = -1,7$$

$$u = 3,25$$
$$v = 0,57$$
$$\overline{y = 3,82}$$

$$x = y - \frac{b}{3a}$$

$$x = 5,12$$

Die analytische Lösung ergibt, daß das Minimum der Summe aller Durchschnittskostenkurven über dem Abszissenwert x = 5,12 liegt. Der dazugehörige Ordinatenwert beträgt k = 3,20 DM. Die Richtigkeit der graphischen Lösung ist damit bewiesen.

Addieren wir zur Kontrolle die Verbrauchsfunktionen

$$k_i = f_i\ (d)$$

so erhalten wir

$$k_i = 12 \cdot \frac{1}{d} + 3,495 - 1,494\ d + 0,191\ d^2$$

Zur Ermittlung der k_i-Werte bei verschiedenen Punkten auf der Abszisse bedienen wir uns der folgenden Tabelle 5.

d	$12 : \frac{1}{d}$	$0,191\ d^2$	$- 1,494\ d$	k_i
1	12	0,191	- 1,494	14,192
2	6	0,764	- 2,988	7,271
3	4	1,719	- 4,482	4,732
4	3	3,056	- 5,976	3,575
5	2,4	4,775	- 7,470	3,200
5,12	2,346	4,998	- 7,643	3,196
6	2	6,876	- 8,964	3,407

Tabelle 5

Die entsprechende Kurve zeigt den bereits bekannten Verlauf in

in Abbildung 20.

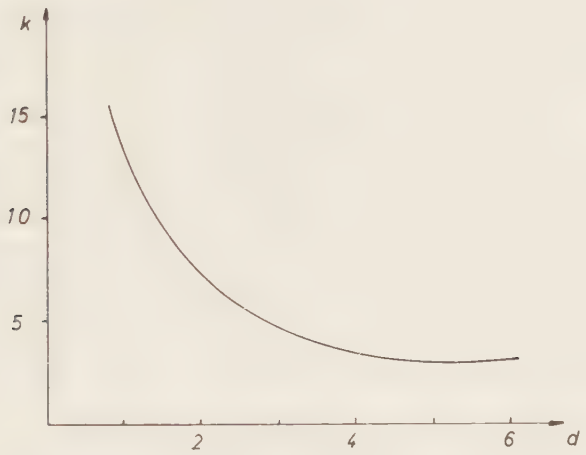


Abbildung 20

Die mathematische Behandlung der Verbrauchsfunktionen stellt in ihrer graphischen oder analytischen Form die Möglichkeit einer exakten Analyse der Veränderung von Kostenverläufen dar. Sie bildet damit die theoretische Grundlage für die Kostenrechnung. Das Ergebnis des angeführten Beispiels zeigt für jeden Belastungsgrad des Fördermittels die jeweilige Höhe der Kosten und gibt damit gleichzeitig an, bei welcher Belastung, das heißt bei welcher Leistung, das Transportmittel im Optimum operiert.

2. Kostenarten

20. Darstellung typischer Transportkosten

Da der innerbetriebliche Transport eine derivative - wenn auch selbständige - Funktion der Erzeugung ist, bilden die Kosten des Förderwesens einen Teil der Produktionskosten. Die Praxis zeigt, daß nur in wenigen Betrieben eine exakte Ermittlung der innerbetrieblichen Transportkosten vorgenommen wird. In der Re-

gel gehen sie global in die Fertigungsgemeinkosten ein. Nun besteht aber die Aufgabe der Kostenrechnung nicht allein in der additiven Erfassung von Kosten. Sie verfolgt darüber hinaus das Ziel, "jeden Mangel, jede Verwunderung, jede Indisposition des Betriebes, die nicht durch andere, gröbere Mittel offenbar wird, dem Gehirn des Betriebes, d.h. der Betriebsleitung, kundzutun"[1]. Dies geschieht, indem ein geplanter (ideeller) Zustand mit dem tatsächlichen verglichen wird. Je weiter man die Kosten detailliert, desto größer wird die Möglichkeit, Ursachen für die Abweichungen von der normal zu erwartenden Kostenhöhe festzustellen. Kosten detaillieren bedeutet, eine möglichst große Anzahl von Kostenarten zu schaffen, wobei natürlich der Nutzen einer stark spezifizierten Kostenrechnung im rechten Verhältnis zu dem dafür erforderlichen Aufwand stehen muß.

Eine tiefe Gliederung der Kostenarten nimmt IMMER vor[2]. Auf einem Kostenblatt für die vergleichende Analyse mehrerer Fördermittel findet man folgende Kostenarten:

Investition:

Rechnungspreis
Installationskosten
Instandhaltungskosten
Kraftstoff- oder Ladeanlage
Umbaukosten
Frachtkosten
Modellkosten
Hilfsmittel
Sonstiges
Kreditkosten

Gesamte Investition

---

[1] Schmalenbach, E.; Kostenrechnung und Preispolitik, Köln und Opladen 1963, S. 15.

[2] Immer, J.; Materials Handling, a.a.O., S. 283.

Fixe Kosten:

Abschreibung
Zinsen
Steuern
Versicherung
Gehalt für Weisungspersonal
Gehalt für Büroangestellte
Gehalt für Wartungspersonal
Sonstiges

Gesamte fixe Kosten

Variable Kosten:

Betriebspersonal
Kraftstoff und/oder Energie
Schmiermittel
Reparaturlöhne
Reparaturteile und -material
Sonstiges

Gesamte variable Kosten

Gesamte jährliche Kosten

Diese Aufstellung enthält allerdings lediglich die Kosten der Fördermittel, während die Kosten der Transportverwaltung und der Förderwege nicht berücksichtigt werden[1].

LÜCKE[2] bevorzugt die folgende Gliederung:

1. Materialkosten
2. Personalkosten

[1] Zur Frage der Systematik der Kostenarten vgl. die ausführliche Gliederung von Heiner, H.A.; a.a.O., S. 62-63.

[2] Lücke, W.; Kosten des innerbetrieblichen Transportes, Kostenrechnungspraxis, Heft 2, 1957, S. 81.

3. Abschreibungskosten
4. Zinskosten
5. Wagniskosten
6. Kostensteuern
7. Fremddienstkosten

In dieser Aufstellung faßt LÜCKE eine größere Zahl von "Unter-" Kostenarten zusammen, so daß jeder Werte- und Leistungsverzehr, der im Zusammenhang mit der Transportleistungserstellung entsteht, erfaßt wird.

21. Die Transportkosten in Abhängigkeit vom Beschäftigungsgrad

Der Beschäftigungsgrad im innerbetrieblichen Transport sei hier definiert als das Verhältnis der tatsächlichen Förderzeit zur kapazitativen Förderzeit bei voller Auslastung des Fördermittels oder als das Verhältnis der effektiv beförderten Menge pro Zeit- und Wegeinheit. Diese auf den ersten Blick umfangreiche Definition des Beschäftigungsgrades resultiert aus der Eigentümlichkeit von Transportmitteln, deren Leistungen in Wegeinheiten oder Zeiteinheiten oder Gewichtseinheiten gemessen werden kann. Weder die gefahrenen Meter, noch die beförderten Mengen, noch die benötigte Zeit vermögen jedoch allein als Maßgröße zu dienen. Der Beschäftigungsgrad kann etwa wie folgt ermittelt werden: Die tägliche maximale Beschäftigung eines 3-Tonnen-Flurfördermittels betrage 8 Stunden, die Geschwindigkeit 15 Kilometer pro Stunde. Folglich ist die technisch realisierbare Kapazität 360 tkm. Tatsächlich werden jedoch nur 90 Kilometer pro Tag gefahren. Die Leistung beträgt demnach 270 tkm pro Tag. Der Beschäftigungsgrad ist dann 75 %. Dabei wird vorausgesetzt, daß das Fahrzeug ständig in Vollast fährt. Soll diese Prämisse fallengelassen werden, so ergibt sich bei einer durchschnittlichen Belastung von vielleicht 2,1 t eine Leistung von 2,1 · 90 = 189 tkm pro Tag und ein Beschäftigungsgrad von~50 %.

MEYER[1] führt neben dem Beschäftigungsgrad den Begriff Auslastung an, der sich aus dem Quotienten Leistung bei tatsächlicher Belastung: Leistung bei maximaler Belastung ergibt. Im Beispiel: 189 : 270 ~ 70 %.

Die Kenntnis der fixen Kosten ist gerade im Förderwesen eine wesentliche Voraussetzung für Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Transportmitteln. Das gilt besonders für den diskontinuierlichen Transport. Je planloser - und damit effektloser - ein Transportmittel eingesetzt wird, desto weniger kommt das Gesetz der Kostendegression zur Wirkung. Ein solches Problem soll die folgende Abbildung zum Ausdruck bringen: Die Kalkulationsabteilung hat für ein bestimmtes Fördermittel die Höchstgrenze der Stückkosten für jede Kostenart mit P_i angegeben. Für die Kostenart "kalkulatorische Zinsen" beträgt sie 0,35 DM. Die normale Kapazität des Fördermittels beträgt pro Monat 1250 Tonnen, die Zinskosten 200 DM. Der Punkt x_0 zeigt an, welche Menge das Fahrzeug hinsichtlich der Zinskosten mindestens pro Monat befördern muß.

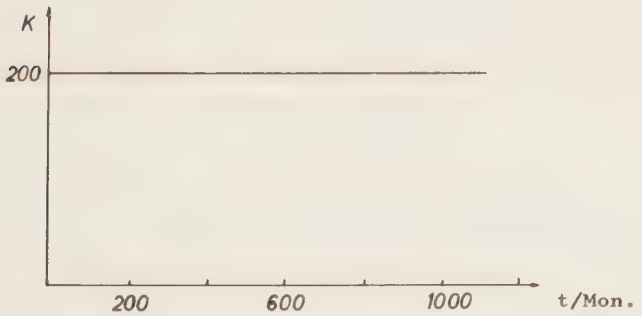


Abbildung 23

[1]Meyer, A.; Die Kosten des Straßentransportes. Separatdruck aus der Zeitschrift Der Lastwagen, Bern 1952, S. 23.

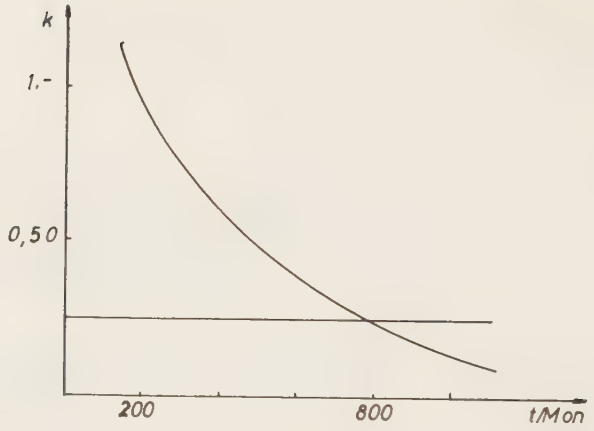


Abbildung 24

Verfährt man in gleicher Weise mit allen konstanten Kostenarten, indem man ihre Summe durch die verschiedenen Beschäftigungsgrade dividiert, so läßt sich auf graphischem Weg die Nutzengrenze der gesamten Fixkosten bestimmen. Die Aussagefähigkeit derartiger Überlegungen hängt von dem Gelingen der Kostenauflösung ab, deren Problematik hier nicht weiter vertieft werden soll; es sei aber darauf hingewiesen, daß die Trennung von fixen und variablen Kosten - etwa durch dispositive Festlegung, wie SCHNEIDER[1] sie vorschlägt - und die Untersuchung ihrer Reagibilität gegenüber Änderungen des Beschäftigungsgrades der Transportverwaltung ein vorzügliches Mittel der Kostenplanung in die Hand gibt. Dazu eine sehr instruktive Darstellung von MEYER[2], der - wie bereits dargestellt - zwischen Beschäftigung und Auslastung unterscheidet.

---

[1] Schneider, E.; Industrielles Rechnungswesen, 3. Aufl., Tübingen 1961, S. 208 ff..

[2] Meyer, A.; a.a.O., S. 24.

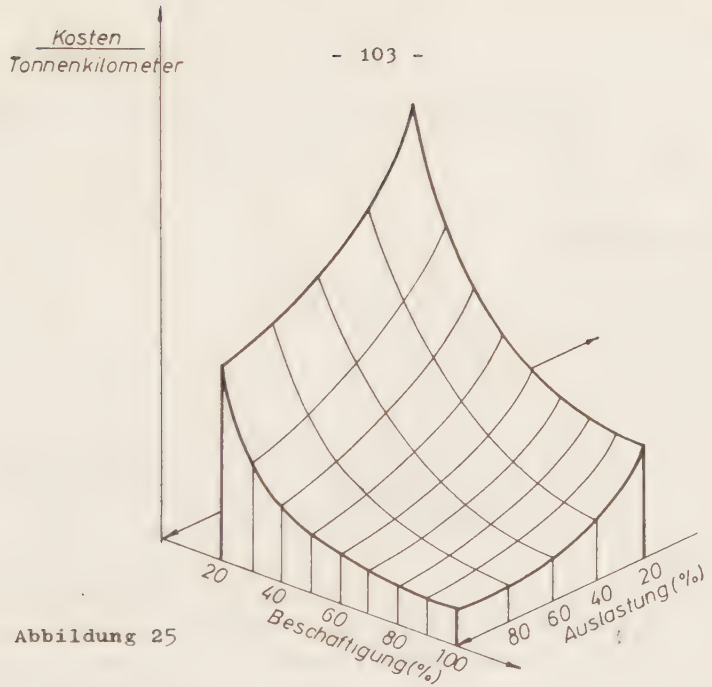


Abbildung 25

Diese Zeichnung bestätigt, daß Entfernung oder Gewicht allein keine hinreichende Bezugsgröße für die Kosten bildet. Bei 90%iger Beschäftigung aber nur 30%iger Auslastung, (Punkt C, Abb. 25), sind die Kosten pro tkm höher als etwa bei 70%iger Beschäftigung und 60%iger Auslastung. Das Kostenoptimum ist in diesem Falle zweier Asymptoten gleich dem Minimum und liegt an der Beschäftigungs- bzw. Auslastungsgrenze.

Die einzelnen Kostenarten im Hinblick auf ihre Reagibilität zu untersuchen, würde zu weit führen. Wie bereits angeführt, bewirken die Verbrauchsmengen der Kostengüter eine Leistungserzeugung nicht unmittelbar, sondern über die Verbrauchsfunktionen. So sind zum Beispiel die Brennstoffkosten abhängig von den technischen Daten des Fördermittels, von der Fahrweise des Fahrers, der Beschaffenheit der Förderstrecke, der Geschwindigkeit, der Haltepunkte usw.. Forschungen dieser Art können nur im Rahmen einer auf dieses Gebiet begrenzten Arbeit behandelt

werden[1].

Welche Kosten man im Förderwesen allgemein als fix und welche als variabel bezeichnet, geht aus der angeführten Gliederung von IMMER hervor.

MEYER[2] unterscheidet in:

1. Haltungskosten
2. Fahrkosten
3. Sonderkosten (eventuell),

während MÜLLER[3] nach den Kosten der Kapazität (Zinsen und Abschreibungen), der Leistungsbereitschaft (Fahrpersonal, Betriebsstoffe) und der Beschäftigung (Lohn-, Betriebskosten) gliedert. Diese Einteilung ist interessant, weil sie neben den fixen und variablen, auch die sprungfixen Kosten berücksichtigt. Abbildung 26 [4] zeigt, daß die Kosten der Kapazität für eine bestimmte Periode konstant bleiben, während die Kosten der Leistungsbereitschaft sprunghaft variieren, je nachdem, wieviele der vorhandenen Fahrzeuge eingesetzt werden. Die Beschäftigungskosten steigen linear mit der Zahl der verwendeten Fahrzeuge. Das Diagramm kann jedoch nur dann in dieser Form dargestellt werden, wenn alle eingesetzten Fahrzeuge gleichmäßig ausgelastet sind. Verläßt man diese Prämisse, so ergibt sich ein nichtlinearer Verlauf der Beschäftigungskosten.

---

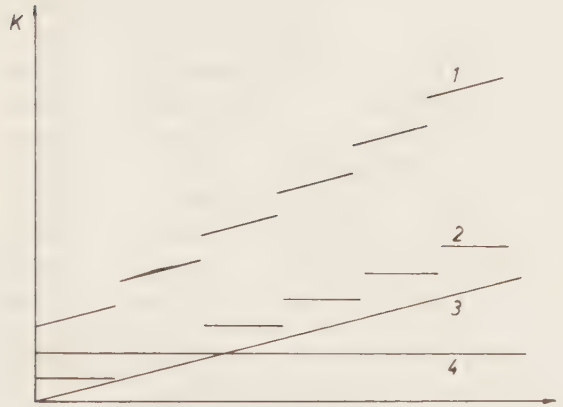
[1] Es sei verwiesen auf Albrecht, H.G.; Betrachtungen zur Kostenstruktur bei Flurfördermitteln und Kraftfahrzeugen, Industrie-Anzeiger, Heft 85, 1962, S. 2031 ff., und Der Transportberater, Dezember 1962.

[2] Meyer, A.; a.a.O., S. 47.

[3] Müller, K.; Das gleislose innerbetriebliche Transportwesen in der Industrie, Winterthur 1956, S. 31.

[4] In Anlehnung an Müller, K; a.a.O., S. 31, ohne jedoch von der falschen Annahme einer stetigen Kurve der Leistungsbereitschaft auszugehen.

Abbildung 26



1 Beschäftigungsgesamtkosten
2 Leistungsbereitschaftskosten
3 Kosten der Beschäftigung
4 Kapazitätskosten

Die Trennung von fixen und variablen Kosten erfordert stets einen Kompromiß. Es erscheint daher angebracht, sich den Lösungen des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung im VDI anzuschließen, allerdings mit dem Hinweis, daß Abschreibungskosten gerade im Innentransport den variablen Kosten zugerechnet werden sollten[1]. Dagegen ist besonders hervorzuheben, daß das Kostenblatt auch solche Kosten berücksichtigt, die durch den Ausfall von Fördermitteln verursacht werden.

22. Die Erfassung innerbetrieblicher Transportkosten

220 Problematik der Einzel- und Gemeinkosten

Die Kostenrechnung im innerbetrieblichen Transport dient in erster Linie der Ermittlung der Selbstkosten, die durch Bewegungsvorgänge entstehen. Es soll festgestellt werden, wie groß der Anteil der Förderkosten an den gesamten Herstellkosten des

[1] ADB-AWF-Kostenblatt für gleislose Flurfördergeräte, VDI 5-3301

Erzeugnisses ist. Diese Aufgabe stellt uns erneut vor die Frage nach einer Maßgröße, und zwar nach einer Verrechnungseinheit, mit der die zu befördernden Güter zu belasten sind. Für diesen Zweck stellt die Zeit die günstigste Größe dar, weil einmal Transportkosten im allgemeinen zur Proportionalität nach der Zahl der Betriebsstunden neigen (bei einem 35-Tonnen-Schlepper mittleren Alters z.B. betragen die variablen Kosten pro Stunde DM 2,50, während die fixen Kosten - ohne Fahrerlohn - bei einer Beschäftigung von 2000 Stunden im Jahr nur 0,70 DM pro Stunde betragen). Zum anderen weil die Verrechnung aufgrund von Transportzeiten den geringsten administrativen Aufwand erfordert. Das Ziel der Kostenrechnung im innerbetrieblichen Transportwesen sollte letztlich darin bestehen, die Transportkosten in Einzelkosten der Fertigung zu transformieren. Das kann dadurch geschehen, daß man die Transportzeiten für jeden Bewegungsvorgang ermittelt und sie mit dem Minuten-Kostensatz des entsprechenden Fördermittels multipliziert. Im Bereich der innerbetrieblichen Gütertransporte ist dieses Vorgehen relativ einfach durchführbar. Wie man jeden Auftrag minuziös mit den verschiedenwertigen Arbeitsleistungen belasten kann, besteht ebenso die Möglichkeit, die Transportzeiten vom Beginn der Erzeugung bis zu ihrem Ende in allen Phasen festzuhalten und zu bewerten. Beim Transport von Personen und Nachrichten dagegen sind die Förderkosten nur über Schlüsselungen dem Kostenträger oder der Kostenstelle zurechenbar.

Aus der gesamtbetrieblichen Sicht wird der Kostenrechnung im innerbetrieblichen Förderwesen die Frage gestellt: Was kostet die Arbeitszeit von einer Minute eines jeden Transportmittels? Eine Frage in dieser Form exakt zu beantworten ist nicht möglich. Bei der Behandlung fixer und variabler Kosten haben wir gezeigt, daß die Kostendegression sich entscheidend auf die Kosten pro Zeiteinheit auswirkt. Ferner wurde auf die Bedeutung der Verbrauchsfunktionen hingewiesen. Es muß daher bekannt sein: Erstens der Beschäftigungsgrad und zweitens der Auslastungsgrad. Auf diese beiden Größen bezogen, lassen sich dann die Kosten eines jeden Fördermittels pro Stunde oder Minute angeben.

Damit kommen wir zur Erfassung der Transportkosten. Nach der Art der Verrechnung auf die Kostenträger unterscheidet man Einzelkosten und Gemeinkosten. Dieses Vorgehen ist auch im innerbetrieblichen Transportwesen gerechtfertigt, wenn man sich von dem herkömmlichen Begriff der Gemeinkosten trennt. Während Transporteinzelkosten den Bewegungsvorgängen direkt zugerechnet werden können, bedarf es bei den Transportgemeinkosten einer Schlüsselung auf das Transportmittel. ELLERSIEK[1] unterteilt die Transporteinzelkosten in personalbedingte Transportkosten und Transportmittelkosten. Zusammen mit den Transportgemeinkosten ergeben sie die gesamten Förderkosten des Betriebes. Im Hinblick auf die Verrechnung erscheint es indes vorteilhafter, Transportkosten immer auf das Transportmittel zu beziehen, also auch die sogenannten Transportgemeinkosten. Auf diese Weise kann die Frage nach den Kosten eines Bewegungsvorganges pro Zeiteinheit hinreichend beantwortet werden. Dem Einwand, das Fördermittel verursache schließlich auch dann Kosten, wenn es nicht eingesetzt ist, kann durch den Hinweis begegnet werden, daß Stillstandzeiten über den Beschäftigungsgrad in den Gemeinkosten verrechnet werden. Das Transportmittel, selbst produzierendes Element, wird somit allein oder in Verbindung mit anderen Fördermitteln zur selbständigen Kostenstelle des Betriebes. Da kein Bewegungsvorgang ohne Transportmittel denkbar ist - abgesehen von der genannten Identität von Erzeugungs- und Fördermittel - müssen alle mit diesem Bewegungsvorgang verbundenen Kosten auf das jeweilige Transportmittel verrechnet werden.

Zunächst unterscheiden wir in

1. Transporteinzelkosten und
2. Transportgemeinkosten.

Zu 1. Die Transporteinzelkosten bestehen aus den Lohnkosten für das Bedienungspersonal und den gesamten Kosten für das Fördermittel, also die fixen und variablen Kosten. Ist das Personal

[1] Ellersiek, K.; Materialflußkosten im Betrieb, Wiesbaden 1958, S. 29 ff..

ausschließlich für den Innentransport tätig, stellt sich die Erfassung der Lohnkosten einfach. Viele Arbeiter verrichten jedoch sowohl Fertigungs- als auch Transportarbeiten. Die Ermittlung der Transportlöhne kann in solchen Fällen durch die sogenannte Grobmethode[1] oder durch Zeitstudien erfolgen. Die Grobmethode teilt die Arbeiter in vier Gruppen ein.

Gruppe 1 verrichtet keine Transportarbeiten,
Gruppe 2 verrichtet 1/3 der Arbeitszeit Transportarbeiten,
Gruppe 3 verrichtet 2/3 der Arbeitszeit Transportarbeiten,
Gruppe 4 verrichtet ausschließlich Transportarbeiten.

Als Unterlage für die Einstufung in eine der vier Klassen können grobe Zeitstudien oder Befragungen von Arbeitern dienen. Die Grobmethode ist einfach anwendbar und führt in der Praxis sicher häufig zu der Erkenntnis, daß ein großer Teil des unter "Fertigungslöhne" verbuchten Betrages in Wirklichkeit Transportlöhne darstellt, die entsprechend zu niedring ausgewiesen wurden. Der Nachteil des Verfahrens liegt - wie es der Name bereits ausdrückt - in der Ungenauigkeit durch die Breite der Gruppeneinteilung. Dieser Mangel kann beseitigt werden, indem man eine Sechs-, Acht- oder gar Zehnteilung vornimmt. Dieses Vorgehen dringt allerdings in den analytischen Bereich der Transportkostenermittlung ein. Auch werden die Arbeiter kaum so exakt eine minuziöse Trennung zwischen Fertigungs- und Transportarbeit vornehmen können. Daher scheint die mit geringem Aufwand durchzuführende Vierteilung akzeptabel. Daß die Grobmethode nicht anwendbar ist, weil "aufgrund des Interessengegensatzes im kapitalistischen Betrieb" die Arbeiter nicht bereit seien, die Rationalisierung zu unterstützen, wie SACK[2] behauptet, kann nicht als wissenschaftliches Gegenargument angesehen werden.

---

[1] Zeumer, H.D.; Anleitung für Transportstudien, Werkstattstechnik und Maschinenbau, Heft 1, 1953, S. 28.

[2] Sack, K.; Die Kosten des innerbetrieblichen Transports, Berlin (Ost) 1961, S. 53.

221. Der Transportkostenfaktor

Exakter gelingt die Erfassung der Transportlohnkosten über den sogenannten Zeitfaktor[1]. Der Zeitfaktor ist der Betrag an Transportlohnkosten, der für eine Zeiteinheit (in unserem Falle Minuten) aufzuwenden ist.

$$\text{Lohn-Zeitfaktor (DM/min)} = \frac{\text{Stundenlohn + lohnabhängige Kosten je Std.}}{60}$$

Dieser Lohn-Zeitfaktor, der für jede Lohngruppe zu berechnen ist, ergibt multipliziert mit der durch Zeitaufnahme ermittelten Transportzeiten die Transportlohnkosten für einzelne Transportprozesse.

Die Kosten der Transportmittel werden - wie eingehend dargestellt - auf der Grundlage von Verbrauchsfunktionen festgestellt, wobei darauf zu achten ist, daß auch solche Kosten, die man herkömmlicherweise als Gemeinkosten ansieht, wie z.B. Zinskosten, Wagniskosten, Kostensteuern und Fremddienstkosten einzubeziehen sind.

Der Zeitfaktor für Fördermittel beträgt dann ohne Löhne:

$$\text{Transportmittel-Zeitfaktor DM/min} = \frac{\text{fixe Kosten + variable Kosten}}{\text{Anzahl der Betriebsstunden} \cdot 60}$$

Die Addition von Transportmittelkosten und personalbedingten Förderkosten ergibt die gesamten Transporteinzelkosten.

Zu 2. Transportgemeinkosten kann man nach ELLERSIEK[2] einteilen in

"1. Kosten, die Voraussetzung für eine Transportoperation sind (z.B. Anteile Gebäudekosten, Wegekosten, Grundsteuer, Meister- oder Betriebsführergehälter und sonstige Verwaltungskosten),

[1] Ellersiek, K.; a.a.O., S. 32.
[2] Ellersiek, K.; a.a.O., S. 30.

2. Kosten, die Folge von Transportvorgängen sind (z.B. Sach- und Personenschäden bei Transportunfällen, Kosten für Maschinenleerlauf oder -stillstand infolge schlechter Materialorganisation usw.)"

Diese Kosten müssen, soweit das möglich ist, gesondert erfaßt werden, im anderen Falle aus den Gemeinkosten des Betriebes abgeleitet werden, was durch Schlüsselung über einen besonderen Betriebsabrechnungsbogen geschehen kann. Auf diese Weise erhalten wir die Transportgemeinkosten pro Zeiteinheit, etwa pro Monat. Das Problem besteht nun darin, die Gemeinkosten auf die im Betrieb eingesetzten Transportmittel nach dem Verursachungsprinzip zu verteilen. Auch hier lassen sich brauchbare Schlüssel finden, zumal durch die tiefe Gliederung der Kostenarten der weitaus größte Teil der Kosten bereits in den Transporteinzelkosten enthalten ist. Betrachtet man die Gemeinkosten auf ihre Entstehung hin, wird man feststellen, daß tendenziell eine Proportionalität zur Transportleistung besteht. Ein schweres Transportmittel verursacht höhere Weg- und Gebäudekosten als ein leichtes, ebenso wie der dispositive Aufwand für ein Fördersystem größer ist als die Verwaltungsarbeit für einen Handkarren. Es empfiehlt sich daher, die Aufschlüsselung der Transportgemeinkosten nach der Leistungsabgabe der Fördermittel vorzunehmen. Sind auf diese Weise die Transportgemeinkosten pro Zeiteinheit - etwa pro Monat - auf alle Transportmittel des Betriebes verteilt, bedarf es nur noch ihrer Division durch die Beschäftigung - etwa in Minuten - und man erhält den Zeitfaktor der Transportgemeinkosten pro Minute für jedes Transportmittel.

$$\text{Zeitfaktor der Gemeinkosten (DM/min)} = \frac{\text{anteilige Gemeinkosten pro Periode}}{\text{Anzahl der Betriebsstunden} \cdot 60}$$

Die gesamten Transportkosten pro Minute je Fördermittel ergeben sich dann durch Summation:

Lohn-Zeitfaktor
+ Transportmittel-Zeitfaktor
+ Gemeinkosten-Zeitfaktor
= Transportfaktor (DM/min)

oder

$$\text{Transportfaktor (DM/min)} = \frac{(K_L + K_{Ln}) \cdot \text{Betriebsstunden} + K_f + K_v + K_g}{\text{Betriebsstunden} \cdot 60}$$

Dabei sind

K_L = Stundenlohn
K_{Ln} = Lohnnebenkosten pro Std.
K_f = fixe Kosten pro Zeiteinheit des Transportmittels
K_v = variable Kosten pro Zeiteinheit des Transportmittels
K_g = Transportgemeinkosten pro Zeiteinheit

222. Fehlerrechnung bei der Bestimmung von Transport-Sollkosten

Der Transportfaktor ermöglicht eine relativ unkomplizierte Verrechnung der Transportkosten. Den Kostenträgern oder den Kostenstellen, die den Dienst eines Fördermittels in Anspruch nehmen, kann aufgrund von Fahrtenschreibern, Taxametern, Begleitkarten, Stoppuhren usw. die genaue Zeitdauer des Förderungsvorganges in Rechnung gestellt werden. Die Zeit (in Minuten) ist dann nur noch mit dem Transportfaktor (DM/min) zu multiplizieren. An dieser Stelle muß darauf hingewiesen werden, daß es sich bei der Bestimmung von Transport-Kostensätzen zunächst um eine Vorschaurechnung handeln muß. Besonders bei Betrieben mit kurzen Verrechnungsperioden kann auf eine endgültige Istbelastung nicht gewartet werden, was die Vorgabe von Sollkosten im Innentransport erforderlich macht[1]. Die Schwierigkeit bei der Berechnung von Vorgabewerten liegt in der Bestimmung des Beschäftigungsgrades. Jede Änderung der Istbeschäftigung bedeutet durch die De-

[1] Vgl. Lücke. W.; Kosten des innerbetrieblichen Transportes, a.a.O.

gression der fixen Kosten und der Degression oder Konstanz der variablen Kosten zugleich eine Änderung des Transportfaktors. Es empfiehlt sich infolgedessen die Ermittlung der Kostensätze auf der Grundlage eines über einen längeren Zeitraum konstant gehaltenen, wahrscheinlichen Beschäftigungsgrades.

Die folgende Fehlerrechnung soll Auskunft darüber erteilen, wie sich die fehlerhafte Schätzung der Beschäftigung auswirkt.

Die tägliche Fahrzeit eines Fördermittels sei in ganzen Stunden (x) angegeben. Die gesamten Kosten des Fördermittels pro Stunde, also der Transportfaktor (DM/Std.) setzen sich zusammen aus den variablen Kosten pro Stunde (K_v) und fixen Kosten pro Stunde (K_f), die sich als Quotient aus fixen Kosten pro Tag (B) durch Anzahl der Betriebsstunden (x), $K_f = \frac{B}{x}$ darstellen lassen.

$$K\left[\frac{\text{Std.}}{}\right] = K_v\left[\frac{\text{Std.}}{}\right] + \frac{B}{x}$$

Dieser Ausdruck sei aus Gründen der Einfachheit in allgemeiner Form geschrieben.

$$y = a + \frac{B}{x}$$

Die Änderung der Beschäftigung und der damit verbundenen Änderung der gesamten Kosten pro Stunde läßt sich darstellen als

$$y + \Delta y = a + \frac{B}{x + \Delta x}$$

Dann ist die Kostenabweichung

$$\Delta y = a + \frac{B}{x + \Delta x} - a - \frac{B}{x} = \frac{Bx - Bx - B\,\Delta x}{(x + \Delta x)\,x}$$

$$\Delta y = -B \cdot \frac{\frac{\Delta x}{x}}{1 + \frac{\Delta x}{x}}$$

Beziehen wir die Kostenabweichung Δy auf die gesamten Kosten y,

so erhalten wir die Kostenabweichung als prozentualen Ausdruck:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\frac{-\,B\,\frac{\Delta x}{x}}{1 + \frac{\Delta x}{x}}}{a + \frac{B}{x}}$$

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{-\,\frac{\Delta x}{x}}{\frac{a}{B}(x + \Delta x) + 1 + \frac{\Delta x}{x}}$$

Somit ergibt sich als endgültige Formel für die Berechnung der relativen Kostenänderung als Folge einer Beschäftigungsabweichung.

$$\frac{-\,\Delta y}{y} = \frac{\frac{\Delta x}{x} \cdot 100}{\frac{a}{B}(x + \Delta x) + 1 + \frac{\Delta x}{x}} \quad [\%]$$

Bei der praktischen Durchführung dieser Fehlerrechnung bedient man sich am besten der tabellarischen Form, d.h. der gesamte Wert der Formel wird schrittweise berechnet. Dazu folgende zwei Zahlenbeispiele mit unterschiedlichen Prämissen: einmal sind die variablen Kosten pro Stunde als konstant angenommen, im zweiten Beispiel als progressiv steigend.

1. Die fixen Kosten eins Fördermittels betragen 10 DM pro Tag, die variablen Kosten bei normaler Beanspruchung 2,68 DM pro Stunde. Die Beschäftigung x variiert - theoretisch - täglich zwischen 0 und 9 Stunden, praktisch unterschreitet sie jedoch selten 6 Stunden. Das Verhältnis von variablen zu fixen Kosten $\frac{a}{B}$ bleibt konstant und beträgt $\frac{2,68}{10} = 0,268$. Mit Hilfe der oben abgeleisteten Formel erhalten wir folgende Tabelle:

x	Δx	$\Delta x\%$	$x+\Delta x$	$\frac{a}{B}(x+\Delta x)$	$\frac{a}{B}(x+\Delta x)+1+\frac{\Delta x}{x}$	$\Delta y\%$
1	1	100	2	0,536	2,54	39,37
2	1	50	3	0,804	2,30	21,74
3	1	33	4	1,072	2,40	13,75
4	1	25	5	1,340	2,57	9,73
5	1	20	6	1,608	2,81	7,12
6	1	16,7	7	1,876	3,04	6,49
7	1	14,3	8	2,144	3,38	4,23
8	1	12,5	9	2,412	3,53	3,54
9	1	11,1	10	2,680	3,79	2,92

Tabelle 6

Wie man aus Tabelle 6 entnehmen kann, schwankt die Kostenabweichung innerhalb der praktisch relevanten Beschäftigungsbreite von 6 bis 9 Stunden von 6,49 % bis 2,92 %. Das bedeutet: Wird die Berechnung des Transportkostensatzes auf der Basis von 8 Betriebsstunden vorgenommen und liegt die effektive Beschäftigung jedoch bei 7 (9) Stunden, so werden der zu belastenden Kostenstelle 4,23 % Kosten zu wenig (2,92 % zu viel) berechnet.

Fehlerrechnungen sind in der Betriebswirtschaftslehre noch selten. Würde man sie bei den verschiedensten Kalkulationsformen und Verrechnungsarten vornehmen, käme man zu Prozentsätzen, die zum Teil weit über den oben genannten liegen. Der Vorwurf, daß die Verrechnung der Transportkosten auf der Grundlage eines für jedes Transportmittel ermittelten Kostensatzes an der Unbestimmtheit und Unregelmäßigkeit des Beschäftigungsgrades scheitern muß, kann daher als unbedeutend zurückgewiesen werden, wenn die Toleranz um den gesuchten Punkt (im Beispiel 8) bestimmte Grenzen (im Beispiel $\pm$ 12,5%) nicht überschreitet.

2. Der zweite Fall, der bei bestimmten Fördermitteln praxisgerechter ist, weil dabei angenommen wird, daß die variablen Kosten progressiv steigen, läßt erkennen, daß sich die Fehlein-

schätzung des Beschäftigungsgrades noch geringer auf die Kostenabweichung auswirkt.

x	Δx	Δx%	$x + \Delta x$	a	$\frac{a}{B}(x + \Delta x)$	$\frac{a}{B}(x + \Delta x) + 1 + \frac{\Delta x}{x}$	Δy%
1	1	100	2	2,40	0,480	2,48	40,32
2	1	50	3	2,45	0,735	2,24	22,32
3	1	33	4	2,47	0,988	2,32	14,22
4	1	25	5	2,50	1,250	2,50	10,00
5	1	20	6	2,65	1,590	2,79	7,16
6	1	16,7	7	2,80	1,960	3,13	5,33
7	1	14,3	8	3,00	2,400	3,54	3,54
8	1	12,5	9	3,35	3,015	4,14	3,03
9	1	11,1	10	3,65	3,650	4,76	2,33

Tabelle 7

Wird in diesem Beispiel ein Beschäftigungsgrad von 8 Stunden vorgegeben, so ergibt sich bei einer im nachhinein festgestellten effektiven Beschäftigung von 7 oder 9 Stunden eine um 3,54 % zu geringe oder 3,03 % zu hohe Belastung für die Benutzung des Fördermittels; eine Fehlergrenze, die bei der innerbetrieblichen Sollkosten-Verrechnung durchaus vertretbar ist.

Durch eine graphische Darstellung kann man das Auffinden von Kostenabweichungen wesentlich erleichtern. In einem Koordinatensystem werden auf der Abszisse die Betriebsstunden, auf der Ordinate die Kosten aufgetragen und zwar die fixen Kosten oberhalb, die variablen unterhalb des Nullpunktes. In Abbildung 27 haben wir oben die Verläufe für fixe Kosten in Höhe von 40, 30, 20, 10 und 5 DM pro Tag und unten die gespiegelten Kurven der aus dem letzten Beispiel entnommenen proportionalen Kosten in Höhe von 2,68 DM sowie der progressiven Kosten eingezeichnet. Der Abstand der jeweiligen Fixkostenkurve mit der entsprechenden Kurve der variablen Kosten bei einem beliebigen Beschäftigungsgrad gibt dann die Gesamtkosten in diesem Punkt an. Diagram-

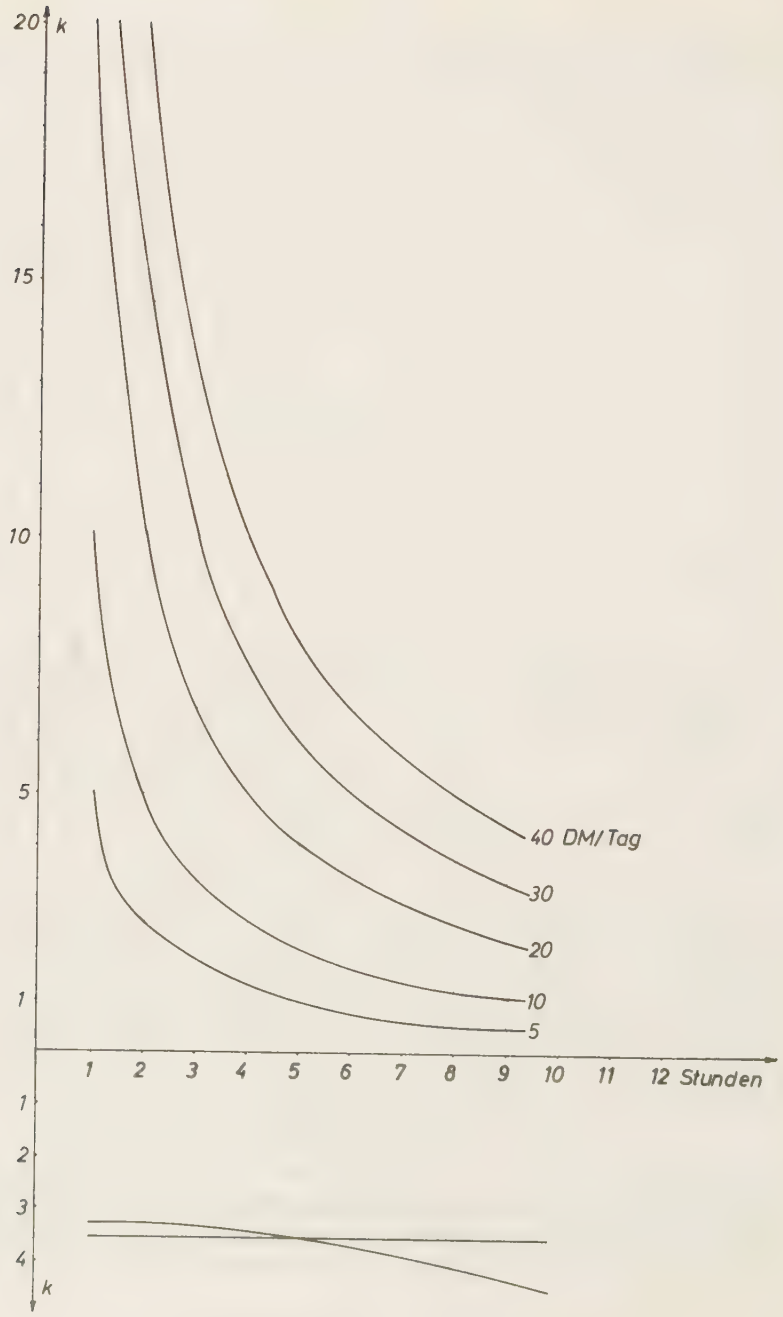


Abbildung 27

me ähnlicher Art kann man für alle innerbetrieblichen Transportmittel anfertigen.

Eine Fehlerrechnung bietet sich besonders im Bereich der diskontinuierlichen Fördermittel an, deren Einsatz sich nicht nach einem festen Fahrplan vollzieht, während bei stetigen Transportmitteln der Beschäftigungsgrad nur geringfügigen Schwankungen unterworfen ist und daher keine Fehlerquelle bei der Berechnung des Transportfaktors darstellt.

23. Zusammenfassung

Wie sich die Erzeugung aus den Grundvorgängen Fertigen, Transportieren und Lagern zusammensetzen, so ergeben sich auch die Produktions-(Herstell-)kosten als Summe der Kosten für die Bearbeitung, der Transportkosten und der Lagerkosten. Wie groß der Anteil der Förderkosten an den gesamten Produktionskosten in der Praxis ist, wurde bereits dargestellt. Der erste Schritt zur Reduzierung von Transportkosten besteht in ihrer analytischen Erfassung. Wir haben dabei den nicht sehr gebräuchlichen Weg beschritten, alle in Zusammenhang mit Bewegungsvorgängen stehenden Kosten auf die Transportmittel - sei es eine Person, ein Fahrzeug, ein Leistungssystem oder eine Förderanlage - zu beziehen. Es handelt sich dabei um eine Art Kostenstellenrechnung im Bereich des innerbetrieblichen Transportes, wenn man in erster Linie an die Fördermittel als Kostenstellen denkt; oder - da die Kostenstellenrechnung der Weiterverrechnung auf die Kostenträger dient - als eine Art Kostentragerrechnung, wenn man die Kosten des Fördermittels sofort auf den Kostenträge, d.h. auf die Transportleistung bezieht.

Die Erfassung der Transportkosten für jedes Transportmittel führt gleichsam zu einem Preis für seine Inanspruchnahme. Dieser Preis, den Selbstkosten für Transportvorgänge identisch, ist den Leistungsempfängern als Verrechnungs- oder Betriebspreis- tunlichst auf der Basis von Sollkosten, um die Abrechnung zu beschleunigen - in Rechnung zu stellen. Dabei erweist

sich die Verrechnung der Transportkosten auf der Grundlage des Transportfaktors auch insofern als Vorteil, als daß dadurch die Kosten der eigenständigen Funktion Transport aus den Herstellkosten ausgesondert werden können, was zum Beispiel dann notwendig ist, wenn im Verwaltungs- oder Vertriebsbereich innerbetriebliche Transporte anfallen.

Wir stellen damit als Ergebnis unserer Darlegungen über die Erfassung von innerbetrieblichen Transportkosten fest, daß es zweckmäßig und praktikabel ist, alle Förderkosten als Sollkosten analytisch zu bestimmen und unter Zugrundelegung eines bestimmten Beschäftigungsgrades auf die einzelnen Fördermittel zu beziehen. Auf diese Weise gelangt man zu einem Transportkostenfaktor, welcher mit der von den Leistungsempfängern beanspruchten Zeit multipliziert den Verrechnungspreis für jede Transportleistung ergibt. So ist es möglich, auch Nachrichten- und Personentransporte mit großer Genauigkeit kostenmäßig zu erfassen.

3. Die Verrechnung innerbetrieblicher Transportkosten

30. Innerbetrieblicher Transport als innerbetriebliche Leistung?

Es wurde im vorigen Abschnitt gezeigt, wie innerbetriebliche Transportkosten zu ermitteln sind, und in welcher Weise ein Preis für die Erbringung von Transportleistungen bestimmt werden kann. Nunmehr gilt es zu klären, wer für Transportdienste zu belasten ist, und an wen verrechnet werden soll. Wie schon erwähnt, stellt der Innentransport eine derivative Funktion dar. Entsprechend müssen seine Kosten in irgendeiner Form den Erzeugnissen zugerechnet werden. Das Ausmaß des innerbetrieblichen Transportes und seine verschiedenen Erscheinungsformen läßt eine Zurechnung auf die fertigen Produkte nicht gerade einfach erscheinen. Es ist daher notwendig, die Transportleistung unter dem Gesichtswinkel der Kostenrechnung eingehender zu betrachten.

Die betriebswirtschaftliche Literatur unterscheidet allgemein

zwei Arten von Leistung. Zum einen die Absatzleistungen, zum anderen die innerbetrieblichen Leistungen. Eine allgemeingültige Begriffsabgrenzung besteht allerdings nicht. Je nachdem, wo man die Trennungslinie zwischen Absatzleistung und Innenleistung zieht, erhält man einen weiteren oder engeren Begriff der innerbetrieblichen Leistungen[1].

Physikalisch gesehen ist der Begriff "Leistung" hier fehl am Platz, denn das, was Kostenstellen abgeben und was entsprechend verrechnet wird, ist Arbeit. Im kostentheoretischen Teil dieser Arbeit haben wir uns um eine klare Herausarbeitung der jeweiligen Dimensionen bemüht. Nicht um den begrifflichen Wirrwarr in der Betriebswirtschaftslehre zu bereichern, sondern in konsequenter Verfolgung exakter Dimensionierung soll daher im folgenden der Begriff "innerbetriebliche Leistung" durch den der innerbetrieblichen Arbeit ersetzt werden. Ohne diese strenge Trennung von Leistung und Arbeit wäre eine Kostenverrechnung mit Hilfe des Transportkostenfaktors nicht eindeutig. Um das besonders hervorzuheben: Im innerbetrieblichen Transportwesen wird die Arbeit (tkm, geleistete Arbeitszeit etc.) nicht aber die Leistung verrechnet. Wenn hin und wieder trotzdem das Wort Leistung verwendet wird, dann nur um den im betriebswirtschaftlichen Sprachgebrauch identischen Inhalt von Arbeit und Leistung hervorzuheben.

Bei der Aufzählung innerbetrieblicher "Leistungen" fehlt selten der Hinweis auf den innerbetrieblichen Transport. Auch MELLEROWICZ, der innerbetriebliche "Leistungen" mit dem Attribut marktfähig versieht[2], rechnet "Transport (Werkverkehr und Innentransport)" dazu. Dieses Vorgehen ist streng logisch nicht haltbar. Ob man den Begriff der innerbetrieblichen "Leistungen" eng oder breit faßt: in keinem Falle enthält er Arbeiten, die unmittelbar auf die Veränderung des Erzeugnisses einwirken, ab-

---

[1] Vgl. Kosiol, E.; Verrechnung innerbetrieblicher Leistungen, Wiesbaden 1959, S. 9.

[2] Mellerowicz, K.; Kosten und Kostenrechnung II, Erster Teil, zweite und dritte Auflage, Berlin 1958, S. 439.

gesehen von der oben angeführten KOSIOLschen Definition. Die eigene Herstellung von Werkzeugen hat zunächst mit der Erzeugung des Marktproduktes nichts zu tun, anders die Erbringung von Transportarbeiten: hier geschieht eine direkte Einwirkung auf das Produkt; Raum und Zeit werden unmittelbar überwunden. Mit Hilfe des Transportkostenfaktors läßt sich der Aufwand für die Ortsveränderung des Erzeugnisses feststellen. Andererseits werden neben den Absatzprodukten eine Vielzahl anderer Transportgüter befördert - Personen, Nachrichten, Materialien. Hier ist eine direkte Zurechnung auf das Erzeugnis nicht möglich.

Wir unterscheiden also:

1. Innerbetriebliche Transportarbeiten, die keine "Innenleistungen" im herkömmlichen Sinne darstellen.

2. Innerbetriebliche Transportarbeiten, die als "Innenleistungen" anzusehen sind.

Die Verrechnung der Kosten der ersten Gruppe ist mit dem Transportkostensatz unproblematisch. Die Erzeugnisse werden beim Durchlauf durch den Betrieb für die einzelnen Transportaktionen sukzessiv belastet. Als Hilfsmittel empfiehlt sich dabei u.a. eine Transportbegleitkarte.

Wenden wir uns der Gruppe 2 zu. Sie enthält alle Transportkosten, die nicht direkt dem Erzeugnis zugerechnet werden können. Diese stellen also Gemeinkosten dar, die en bloc durch die Zuschlagskalkulation auf die Kostenträger verrechnet werden können. Das Verfahren empfiehlt sich jedoch nur bei einem geringen betrieblichen Transportvolumen. Da die Kostenrechnung Kontrollfunktionen besitzt, wählt man zweckmäßiger den Umweg über die Kostenstellen, denn der innerbetriebliche Transport stellt ja die räumliche Verbindung der einzelnen Betriebsabteilungen her. Warum sollte man diese Leistungsströme nicht zahlenmäßig erfassen!

Bezeichnen wir als innerbetriebliche Arbeit nunmehr den zu ver-

rechnenden Arbeitsaustausch zwischen den Kostenstellen des Betriebes, so können wir die Transportarbeiten, die nicht unmittelbar in das Erzeugnis eingehen, nach den Verfahren verrechnen, die für die Behandlung innerbetrieblicher Leistungen geschaffen worden sind.

31. Die Verrechnung innerbetrieblicher Transportkosten über Kostenstellen

310. ... bei einseitiger Leistungsbeziehung

Der große Anteil der innerbetrieblichen Transportkosten an den Gesamtkosten des Betriebes liegt nicht zuletzt in der mangelnden Straffheit und Exaktheit ihrer Verrechnung begründet. Nicht selten vermag am Ende einer Abrechnungsperiode niemand zu sagen, warum und für wen die Kosten des Innentransportes angefallen sind. Diese Kenntnis ist aber für eine Kontrolle der Wirtschaftlichkeit des Innentransportes unerläßlich.

Als mit Förderkosten zu belastende Kostenstellen kommen alle diejenigen Stellen in Frage, für die innerbetriebliche Transporte anfallen. Dabei empfiehlt es sich, von den bereits bestehenden Kostenstellen auszugehen; neue zu schaffen, nur um die Transportkosten exakter verrechnen zu können, würde die Kostenrechnung unnötig aufbauschen. Mit anderen Worten: die Verrechnung innerbetrieblicher Transportkosten über Kostenstellen ist nur dann möglich und erforderlich, wenn der Betrieb eine Kostenstellenrechnung hat.

An dieser Stelle erhält die Frage nach der Verantwortlichkeit für das Förderwesen und damit nach seiner Organisation besonderes Gewicht, weil die Methoden der innerbetrieblichen Arbeitsverrechnung davon abhängen, ob der Innentransport zentralisiert oder dezentralisiert ist.

Man hat zu unterscheiden:

1. Bei dem Vorhandensein einer (oder mehrerer) Transportzentra-

len:

Arbeiten, die von der Kostenstelle "Innerbetriebliches Transportwesen" für andere Kostenstellen erbracht und verrechnet werden. Es liegt eine einseitige Leistungsbeziehung vor, denn die Zentrale erbringt sämtliche Transportleistungen des Betriebes ohne hingegen selbst solche zu empfangen.

2. Bei dezentraler Organisation des Förderwesens:

21. Arbeiten, die von den einzelnen Kostenstellen erbracht und zum Teil gegenseitig ausgetauscht werden. Dieser Fall ist zum Beispiel bei Flurfördermitteln gegeben, die zu verschiedenen Abteilungen gehören.

22. Arbeiten, die innerhalb einer Kostenstelle erbracht und verbraucht werden. Hier erübrigt sich eine Verrechnung.

Bei der Erfassung von innerbetrieblichen Leistungen ist zu Einzelkosten (Material- und Lohnkosten) oder zu Vollkosten (Material + Lohn + anteilige Gemeinkosten) möglich[1]. Da wir alle im Zusammenhang mit der Beförderung anfallenden Kosten auf die Transportmittel bezogen haben, handelt es sich im Bereich des Förderwesens stets um eine Vollkostenmethode.

Betrachten wir zunächst die Möglichkeit einer innerbetrieblichen Transportarbeitsverrechnung bei dem Vorhandensein einer zentralen Transportverwaltungsstelle, indem wir unseren Erörterungen einen konkreten Sachverhalt zugrundelegen. Wir stellen uns eine Betriebsabteilung mit fließender Fertigung vor, die bestimmte Ver- und Bearbeitungsvorgänge an verschiedenen aber gleichwertigen Erzeugnissen vorzunehmen hat. Die Transporte der Produkte von Maschine zu Maschine gehören nicht zu den innerbetrieblich zu verrechnenden Arbeiten, sie werden als direkte Kosten behandelt. Dagegen stellt die Beförderung von verschiedenen Materialien zu der Abteilung sowie der Abtransport von Ab-

[1] Mellerowicz, K.; Kosten und Kostenrechnung, Band II, 1, a.a.O., S. 442.

fällen usw. eine Innenleistung dar. Arbeiten dieser Art fallen bei nahezu allen Betriebsabteilungen an. Für die Behandlung ihres Aufwandes bestehen grundsätzlich drei Möglichkeiten:

1. Die Kosten werden lediglich der Transportstelle angelastet und nicht weiter aufgeteilt (sogenannte Nullmethode). Es liegt auf der Hand, daß dieses Verfahren im Interesse einer exakten Kostenrechnung und Kostenüberwachung nicht vertretbar ist.

2. Die Kosten werden von der Transportzentrale auf die empfangenen Stellen mit Hilfe eines Schlüssels verrechnet (sogenanntes Kostenstellenumlageverfahren). Das kann etwa in der Weise geschehen, daß durch statistische Stichprobenverfahren die zeitliche oder mengenmäßige Beanspruchung der Fördermittel für die verschiedenen Abteilungen ermittelt und über daraus resultierende Äquivalenzziffern den Abteilungen berechnet wird.

3. Bei der Verrechnung von Transportkosten besteht zudem die Möglichkeit, die Kosten direkt zum Zeitpunkt ihres Entstehens zu erfassen, wenn man - wie von uns propagiert - die Transportleistung als Kostenträger oder das Transportmittel als Kostenstelle anzusehen bereit ist. Da jedes Fördermittel einen bestimmten Transportfaktor besitzt, lassen sich mit Hilfe technischer Hilfsmittel (Fahrtenschreiber etc.) nach jeder Beanspruchung die Kosten durch einfache Multiplikation von Arbeit mal Kostenfaktor errechnen. Daß diese Art der Kostenermittlung auf der Grundlage von Soll- oder Plankosten erfolgen muß und unter Umständen eine spätere Nachrechnung bei abweichenden Istzahlen notwendig macht, vermag den Wert des Verfahrens nicht zu beeinträchtigen, das unter den genannten Methoden das exakteste darstellt. Zudem ist das Verfahren recht einfach in seiner Anwendung. Die Fahrer von Transportmitteln halten in Fahrtenbüchern, auf Taxametern, Logbüchern oder ähnlichem fest, für welche Abteilungen und wie lange sie gefahren sind. Die Transportzentrale berechnet dann die Kosten unter Zuhilfenahme des Transport-

faktors und verteilt sie auf die einzelnen Abteilungen durch Gutschriften bei sich und Belastungen auf dem Konto des jeweiligen Leistungsempfängers.

311. ... bei wechselseitiger Leistungsbeziehung

3110. Sukzessive Verrechnung bei dezentralisierter Organisation des Förderwesens

Besteht in einem Betrieb eine eigenständige innerbetriebliche Transportzentrale, so sind alle drei der oben genannten Verfahren oder Variationen von ihnen für die Verrechnung der Transportkosten anwendbar. Welches von ihnen zum Zuge kommen soll, entscheidet der angestrebte Grad der Vollständigkeit und Genauigkeit. Sind dagegen Leistungsbeziehungen zwischen den Kostenstellen zu berücksichtigen, so versagen die beschriebenen Methoden im allgemeinen. Da die Arbeit einer Kostenstelle Vorarbeiten anderer Kostenstellen beinhaltet, lassen sie die Verrechnungspreise zwischen den Kostenstellen nur mit Hilfe eines Gleichungssystems ermitteln[1].

Wie ein solches System zu lösen ist, soll im folgenden gezeigt werden. Zuvor jedoch muß die Frage geklärt sein, ob gegenseitige Leistungsverflechtungen im Sinne innerbetrieblicher Leistungen im Bereich des Innentransportes überhaupt bestehen. Die dezentrale Organisation des Förderwesens bedeutet, daß jede relevante Abteilung eigene Transportmittel besitzt. Wenn sich diese Stellen gegenseitig mit Material, Personen oder Nachrichten beliefern, so bestehen räumlich wechselseitige Beziehungen. Anders als bei den herkömmlichen innerbetrieblichen Leistungen bauen Transportarbeiten aber nicht aufeinander auf, das heißt eine Transportleistung bedarf substanziell keiner Vorleistung. Jede Transportarbeit ist in sich abgeschlossen. Lediglich die direkten Transportarbeiten besitzen kummulative Wirkung: das Absatzprodukt wird sukzessive mit ihnen

[1] S.u.a. Schneider, E.; Industrielles Rechnungswesen, 3. Aufl., Tübingen 1961, S. 48 ff. und Angermann, A.; Die Verrechnung innerbetrieblicher Leistungen in der Kostenstellenrechnung, in: Festschrift zum 70. Geburtstag von W.G.Waffenschmidt, Meisenheit 1958, S. 39.

belastet. Direkte Transportkosten stehen hier jedoch nicht zur Debatte. Wenn also die Abteilung A mit einem eigenen Fahrzeug der Abteilung B Hilfsmaterial liefert, und Abteilung B wiederum der Stelle A Betriebsstoffe zuführt, so besteht keine Verflechtung im Sinne innerbetrieblichen Leistungsaustausches. Die Transportakten sind in sich abgeschlossen. Anders dagegen bei einem klassischen Fall innerbetrieblicher Arbeitsverrechnung. Ein betriebseigenes Kesselhaus liefert Dampf an das ebenfalls zum Betrieb gehörige Elektrizitätswerk. Das E-Werk wiederum liefert einen Teil der erzeugten Strommenge an das Kesselhaus zurück. Beide Stellen sind zur Erzeugung von Energie voneinander abhängig.

Aus diesen Überlegungen folgt, daß Transportarbeiten stets einseitig gerichtete Vektoren darstellen. Die Arbeitsverrechnung zwischen den Kostenstellen vollzieht sich entsprechend einfach. Jede Abteilung stellt die für andere Abteilungen geleistete Transportarbeit in Zeiteinheiten fest und multipliziert sie mit dem Kostenfaktor des jeweiligen Fördermittels. Mit dem so gewonnenen Geldbetrag wird die empfangene Abteilung belastet.

Bei einer zentralisierten Kostenerfassung empfiehlt sich die Aufstellung eines Tableaus von etwa folgendem Aussehen:

	Kostenstelle I	nach Kostenstelle II	Kostenstelle III	"Einnahmen"
Kostenstelle I Fördermittel: 3+/E Schlepper Faktor 6,50DM/h 1+/B Gabelstapler Faktor 8,70DM/h	 - -	 20 · 6,50 130.-- 15 · 8,70 130.50	 10 · 6,50 65,-- -	325,50
von Kostenstelle II Fördermittel: 2+/E Gabelstapler Faktor 8,80DM/h	 30 · 8,80 264,--	 -	 40 · 8,80 352,--	616,--
Kostenstelle III Fördermittel:keins	-	-	-	-
"Ausgaben"	264,--	260,50	417,--	941,50

Tabelle 8

Die gegenseitige Aufrechnung weist lediglich zwei Zahlungen der Kostenstelle III auf. Sie wird mit 61,-- DM von der Abteilung I und mit 355,50 DM von der Kostenstelle II belastet.

Die Kostenstruktur im Betrieb ist zwar nicht ausgesprochen transparent, dennoch sollte es den einzelnen Abteilungen möglich sein, den Kostenanteil ihrer Fördermittel zu bestimmen. Wichtig ist dabei eine Einigung über die Kostenarten, welche in die Kostenrechnung eingehen sollen. Das gilt im besonderen für die Gemeinkosten. Falls sich für ihre Verrechnung über Schlüssel ein relativ zu großer Aufwand ergeben sollte, empfiehlt es sich, einen Teil der Gemeinkosten in den Gemeinkosten der Kostenstelle aufgehen zu lassen. Natürlich beeinträchtigt dieses Vorgehen die Genauigkeit der Transportkostenanalyse. Betriebe mit einem großen Anfall von Transportkosten sollten daher die Transportkostenfaktoren auf der Grundlage von Transporteinzelkosten und sämtlicher Transportgemeinkosten ermitteln. Mit aller Sicherheit wird man dabei feststellen können, daß die einzelnen Abteilungen für Fördermittel gleichen Typs und Alters verschiedene Transportkostenfaktoren errechnen. Diese Tatsache resultiert - gleichartige Kostenerfassung vorausgesetzt - aus der Verschiedenartigkeit des angenommenen Beschäftigungsgrades und bestätigt damit die Wichtigkeit einer eingehenden Transportanalyse. Man wird feststellen, daß das Fördermittel (inter pares) mit dem höchsten Kostensatz unterbeschäftigt ist und kann hier Rationalisierungsmaßnahmen ansetzen.

3111. Simultane Verrechnung bei Bestehen einer Transportabteilung

Die Ermittlung des Kostenfaktors gestaltet sich nun in einem Falle schwierig. Bisher waren wir implizit davon ausgegangen, daß alle Verbrauchsmengen für die Erbringung von Transporten von außen bezogen wurden. Betrachten wir die Betriebsstoffe, die Instandhaltung, den Fahrerlohn, die Kapitaldienstkosten usw., so ist dieses Vorgehen berechtigt. Werden aber bestimmte Kostengüter oder Dienstleistungen vom Betrieb selbst erstellt,

so ändert sich die Situation, weil nunmehr die Kosten für die Verbrauchsmengen nicht mehr vom Markt her bestimmt sind, sondern im Wege der innerbetrieblichen Leistungsverrechnung ermittelt werden müssen. Betrachten wir als typisches Beispiel die gegenseitige Arbeitsverflechtung zwischen der Instandhaltungsabteilung und dem betriebseigenen E-Werk, die beide eigene Elektro-Fördermittel besitzen. Das E-Werk liefert Strom unter anderem für die Instandhaltungsabteilung, die ihrerseits die Anlagen des E-Werkes und die Stromleitungen wartet und instandhält. Der Preis für den Stromverbrauch innerhalb der Instandhaltungsabteilung und andererseits die Kosten für die Wartung der Kraftmaschinen des E-Werkes werden durch die innerbetriebliche Arbeitsverrechnung ermittelt. Nehmen wir nun an, die Fördermittel dienen unter anderem der gegenseitigen Belieferung mit Material, Personal oder Nachrichten, dann hängt der Kostenfaktor für diese Dienstleistungen von der Intensität des gegenseitigen Arbeitsaustausches ab. Das heißt, der Stromverbrauch für die Fahrzeuge der Instandhaltungsabteilung einerseits und die Wartung für die Transportmittel des E-Werkes andererseits, finden ihr monetäres Äquivalent über die innerbetriebliche Leistungsverrechnung beider Abteilungen. Hier sind Transportdienste simultan zu verrechnende innerbetriebliche Leistungen im herkömmlichen Sinne. Ebenso verhält es sich bei dem Bestehen einer Transportzentrale, die mit anderen Abteilungen, z.B. dem E-Werk und der Reparaturabteilung, in wechselseitiger Arbeitsverknüpfung steht: Die Transportabteilung stellt den beiden anderen Kostenstellen Produktionsfaktoren in Form von Fördermitteln zur Verfügung, deren Kosten sich unter anderem nach dem Preis der Leistungen richten, die mit ihrer Hilfe von den beiden anderen Abteilungen erbracht werden.

Daraus folgt: Innerbetriebliche Transportdienste stellen nur dann simultan zu verrechnende innerbetriebliche Leistungen dar, wenn für ihre Erbringung Kostengüter verbraucht werden, die im Betrieb selbst erzeugt werden.

Eine Leistungsverflechtung dieser Art veranschaulicht das nach-

stehende Bild dreier sich gegenseitig beliefernder Hilfskostenstellen.

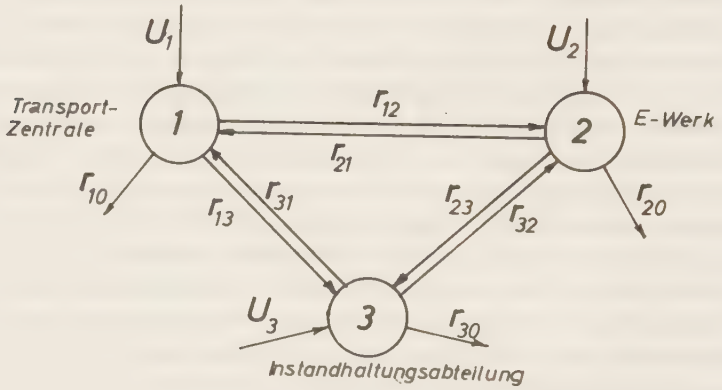


Abbildung 28

Neben den Kostengütern von außen und von anderen Kostenstellen (U_1) empfängt die Transportzentrale von den beiden anderen Abteilungen die Arbeitseinheiten r_{21} (gemessen z.B. in 1000 kW/h) und die Arbeitseinheiten r_{31} (gemessen z.B. in DM/Tag). Ihrerseits gibt sie die Transportdienste r_{10} an sonstige Abteilungen oder direkt an Kostenträger und r_{12} bzw. r_{13} an die Abteilungen 2 bzw. 3 ab.

Auf die Möglichkeit, die Verrechnungspreise nach den herkömmlichen Methoden der Gleichungsrechnung zu ermitteln, wurde bereits hingewiesen. Es kann sich in diesem Falle nur um eine simultane Kostenverrechnung handeln, da der gegenseitige Leistungsaustausch eine sukzessive Verrechnung nicht erlaubt[1].

[1] S. Schneider, E.; a.a.O., S. 54.

"Die Schwierigkeit der Kostenumlage bei einem gegenseitigen Leistungsaustausch der Kostenstellen liegt offensichtlich darin, daß die Kosten der leistungsabgebenden Kostenstellen nicht zu berechnen sind, bevor nicht bekannt ist, mit welchen Kosten die betreffende Kostenstelle für die Gegenlieferung von der leistungsabnehmenden Kostenstelle zu belasten ist"[1].

32. Die Anwendung der Matrizenrechnung bei der innerbetrieblichen Transportkostenverrechnung

320. Grundsätzliches

Die Maßeinheitskosten oder Verrechnungspreise, mit denen die mengenmäßigen Leistungsaustausche zu bewerten sind, stellen also zunächst Unbekannte dar. Sie zu bestimmen, ist im oben angeführten Beispiel ohne große Schwierigkeit möglich. Der Rechenprozeß kompliziert sich naturgemäß mit dem Anwachsen der Zahl von Gleichungen. Mehr als 10 Gleichungen mit 10 Unbekannten ohne geeignete Hilfsmittel zu lösen, erfordert einen unangemessen hohen Aufwand. Dies ist auch der Grund dafür, daß mathematische Verfahren zur Berechnung innerbetrieblicher Maßeinheitskosten erst nach der Entwicklung elektronischer Rechenanlagen diskutiert werden konnten. So ist dann in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur der letzten Jahre besonders die Matrizenrechnung als Methode der Kostenrechnung erörtert worden[2]. Gewöhnlich findet man im Schrifttum zwei grundsätzliche Verfahren zur Lösung linearer Gleichungssysteme, nämlich den Gaußschen Algorithmus, d.h. die Lösung durch Matrizeninversion und die Lösung mit Hilfe von Determinaten. Der einfachste, jedoch wenig bekannte Weg führt über die erweiterte Matrix. Er soll im folgenden beschrieben werden. Zuvor sei als Einführung in das Matrizenkalkül die Lösung von Gleichungen durch Determinanten behandelt.

---

[1] Angermann, A.; Die Verrechnung innerbetrieblicher Leistungen in der Kostenstellenrechnung, a.a.O., S. 39.

[2] Vgl. u.a. Angermann, A.; a.a.O. und die Beiträge von Adam, Klingst, Pichler, Wenke und Scholz, in: Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme, 2. Aufl., Würzburg 1963.

321. Lösung mit Hilfe von Determinanten

Betrachten wir das graphische Bild unseres Beispiels; wir werden unschwer erkennen, daß eine derartige Darstellung bei einer größeren Anzahl von Kostenstellen unübersichtlich wird. Es empfiehlt sich daher eine tabellarische Schreibweise.

abgebende Kostenstelle (j) \ empfangende Kostenstellen (i)	1	2	3	...	n
1	-	r_{12}	r_{13}		r_{1n}
2	r_{21}	-	r_{23}		r_{2n}
3	r_{31}	r_{32}	-		r_{3n}
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
.	.	.	.		.
n	r_{n1}	r_{n2}	r_{n3}	...	-

Tabelle 9

In dem Beispiel seien für die Arbeits- und Energieströme r_{ij} folgende Zahlen angenommen.

Kostenstelle 1
(Transportabteilung)

$$r_{12} = 3,\ r_{13} = 2,\ r_{10} = 6 \text{ (gemessen in DM/Std.)}$$

Kostenstelle 2
(E-Werk)

$$r_{21} = 1,\ r_{23} = 1,\ r_{20} = 10 \text{ (gemessen in 1000 kWh)}$$

Kostenstelle 3
(Instandhaltung)

$$r_{31} = 4,\ r_{32} = 5,\ r_{30} = 8 \text{ (gemessen in Arbeitstagen)}$$

Die Gesamtleistung R_i der einzelnen Abteilungen beträgt dann

$$R_1 = 6 + 3 + 2 = 11$$
$$R_2 = 10 + 1 + 1 = 12$$
$$R_3 = 8 + 4 + 5 = 17$$

Bezeichnen wir nun die unbekannten Verrechnungspreise mit c_i (i = 1, 2, 3), so erhalten wir folgendes Gleichungssystem für die in Geld bewertete Leistungsabgabe der drei Kostenstellen:

$$c_1R_1 = c_1r_{10} + c_1 \cdot r_{12} + c_1 \cdot r_{13} \quad \text{DM/Std.}$$
$$c_2R_2 = c_2r_{20} + c_2 \cdot r_{21} + c_2 \cdot r_{23} \quad \text{DM/1000 kWh}$$
$$c_3R_3 = c_3r_{30} + c_3 \cdot r_{31} + c_3 \cdot r_{32} \quad \text{DM/Tag}$$

Wir übertragen das Prinzip, daß keine Energie verloren gehen kann, auf unsere Überlegungen und konstatieren, daß für jede Abteilung der Kostenwert der empfangenen Leistungen sein muß.

$$\sum_{j=0}^{3} r_{ij} = \sum_{i=1}^{2} r_{ji} + U_1$$

d.h. $c_1R_1 = c_2 \cdot r_{21} + c_3 \cdot r_{31} + U_1$ usw., wobei U, wie erwähnt, die Leistung darstellt, die von außen oder von anderen Abteilungen, welche nicht in den innerbetrieblichen Verrechnungskreis einbezogen sind, empfangen werden. Im Beispiel seien $U_1 = 100$, $U_2 = 200$, $U_3 = 500$. Umgeformt ergibt sich:

$$U_1 + c_2 \cdot r_{21} + c_3 \cdot r_{31} - c_1 \cdot R_1 = 0$$
$$U_2 + c_1 \cdot r_{12} + c_3 \cdot r_{32} - c_2 \cdot R_2 = 0$$
$$U_3 + c_1 \cdot r_{13} + c_2 \cdot r_{23} - c_3 \cdot R_3 = 0$$

oder

$$c_1R_1 - c_2r_{21} - c_3r_{31} = U_1$$
$$-c_1r_{12} + c_2R_2 - c_3r_{32} = U_2$$
$$-c_1r_{13} - c_2r_{23} + c_3R_3 = U_3$$

In dieser Matrix sind die reellen Zahlen r_{ij} sowie U_i und R_i bekannte Größen, die unbekannten c_i sollen ermittelt werden.

Im Beispiel hat die Matrix folgendes Aussehen, wobei die linke Seite als quadratische Matrix den rechnerisch relevanten Teil darstellt.

$$\begin{aligned} 11c_1 - 1c_2 - 4c_3 &= 100 \\ -3c_1 - 12c_2 - 5c_3 &= 200 \\ -2c_1 - 1c_2 + 17c_3 &= 500 \end{aligned}$$

Bevor mit der Lösung begonnen wird, empfiehlt es sich zu prüfen, ob eine eindeutige Lösung überhaupt existiert. Dies ist dann der Fall, wenn die Determinante D der quadratischen Matrix ungleich Null ist.

Nach der Cramerschen Regel erhalten wir für die Unbekannten c in unserem Beispiel die Werte:

$$c_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{50600}{2020} = 25{,}04$$

$$c_2 = \frac{D_2}{D} = \frac{75400}{2020} = 37{,}32$$

$$c_3 = \frac{D_3}{D} = \frac{69800}{2020} = 34{,}55$$

Der Kostenfaktor der Transportzentrale beträgt 25,04 DM/Std., während das E-Werk seine Energieabgabe mit 37,32 DM/1000 kWh und die Reparaturabteilung ihre Leistung mit 34,55 DM/Arbeitstag abrechnet.

322. Lösung mit Hilfe der erweiterten Matrix

Wenn in einer Matrix nicht viele Nullen auftreten, bereitet die explizite Berechnung der Determinanten von Matrizen höherer Ordnung erhebliche technische Schwierigkeiten. Die Ermittlung einer Determinante n-ter Ordnung erfordert die Bildung einer Summe von n! Produkten zu je n Faktoren, d.h. für eine Determinate 10. Ordnung sind 10! = 362800 Summanden notwendig. Eines solchen Aufwandes be-

darf die Lösung mit der erweiterten Matrix nicht. Dieses Verfahren besteht darin, daß man - ähnlich wie bei den herkömmlichen Methoden zur Lösung von Gleichungen - durch Multiplikation und Subtraktion der einzelnen Zeilen das Gleichungssystem so umformt, daß die linke Seite zur sogenannten Einheitsmatrix wird, bei der die Hauptdiagonale mit Einsen besetzt ist, während die anderen Elemente Null sind. Das Lösungssystem hat also die Gestalt

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & b'_1 \\ 0 & 1 & 0 & b'_2 \\ 0 & 0 & 1 & b'_3 \end{pmatrix}$$

Dieses nun zu beschreibende Rechenverfahren zur Bildung des obigen Schemas stellt eine abgekürzte Form des in der Literatur häufig angewandten Gaußschen Algorithmus[1] dar. Es unterscheidet sich von diesem durch den weniger mechanisierten Ablauf der Rechenoperationen und ist bis zu etwa 12 Gleichungen ohne Hilfe von Datenverarbeitungsanlagen anwendbar.

Das Verfahren sei an Hand des Beispiels demonstriert:

Zeile	Rechenoperation				
a		11	- 1	- 4	100
b		- 3	12	- 5	200
c		- 2	- 1	17	500
d	a - c	13	0	- 21	-400
e	b - c	- 1	13	- 22	-300
c		- 2	- 1	17	500
f	d + 13 · e	0	169	-307	-4300
h	c - 2 · e	0	- 27	61	1100
i	h : - 27	0	1	$-\frac{61}{27}$	$\frac{1100}{27}$
j	f - 169 · i	0	0	$-\frac{307 \cdot 27}{27} + \frac{61 \cdot 169}{27} - \frac{4300 \cdot 27}{27} + \frac{1100 \cdot 169}{27}$	

[1] S.u.a. Angermann, A.; Entscheidungsmodelle, Frankfurt am Main 1963, S. 75 ff..

Zeile	Rechenoperation				
j		0	0	$\frac{2020}{27}$	$\frac{69800}{27}$
j'	j : $\frac{2020}{27}$	0	0	1	34,55
k	h - 61 · j'	0	- 27	0	$\frac{27 \cdot 1100}{27} - \frac{69800 \cdot 61}{27}$
k		0	- 27	0	- 1007,55
k'	k : - 27	0	1	0	37,32
l	d + 21 · j'	13	0	0	- 400 + 21 · 34,55
l		13	0	0	325,55
l'	l : 13	1	0	0	25,04

Die Endmatrix lautet zusammengefaßt:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 25{,}04 \\ 0 & 1 & 0 & 37{,}32 \\ 0 & 0 & 1 & 34{,}55 \end{pmatrix}$$

Mithin ist

$$c_1 = 25{,}04 \text{ DM} \qquad c_2 = 37{,}32 \qquad c_3 = 34{,}55$$

Die Zahlen 2020 und 69800 sind uns bereits aus der Lösung nach der Cramerschen Regel bekannt, nämlich als die Koeffizienten-Determinante D und die Zählerdeterminante D_3. Dies beweist die innere Beziehung beider Verfahren.

Die Matrix läßt sich schneller auflösen, wenn man zunächst D und D_3 bestimmt. Nach den Eigenschaften von Determinanten ergibt sich der Wert einer Determinante als Produkt der Glieder der Hauptdiagonalen, wenn alle Elemente links unterhalb der Diagonalen $a_{11}, a_{22}, \ldots, a_{nn}$ durch entsprechende Umformung

Null werden. Ebenso kann man die Determinanten einfacher finden, indem man eine Determinante n-ter Ordnung durch Bildung von Adjunkten (Unterdeterminanten) auf eine Determinante (n-1)-ter Ordnung zurückführt.

Im Beispiel ergibt die Determinante

$$D = \begin{vmatrix} 11 & -1 & -4 \\ -3 & 12 & -5 \\ -2 & -1 & 17 \end{vmatrix}$$

durch Umformung (1. Zeile + 3. Zeile; 2. Zeile - 12fache der 3. Zeile)

$$D = \begin{vmatrix} 13 & 0 & -21 \\ -27 & 0 & 199 \\ -2 & -1 & 17 \end{vmatrix}$$

Die Adjunkte dieser Determinante ist

$$D = +1 \begin{vmatrix} 13 & -21 \\ -27 & 199 \end{vmatrix} = 2020$$

Entsprechend verfährt man mit der Zählerdeterminante D_3.

$$D = \begin{vmatrix} 11 & -1 & 100 \\ -3 & 12 & 200 \\ -2 & -1 & 500 \end{vmatrix}$$

kann geschrieben werden in der Form

$$D = 100 \begin{vmatrix} 11 & -1 & 1 \\ -3 & 12 & 2 \\ -2 & -1 & 5 \end{vmatrix}$$

Nach Umformung, in diesem Falle spaltenweise, erhält man

$$D = 100 \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -25 & 14 & 2 \\ -57 & 4 & 5 \end{vmatrix} = 100 \begin{vmatrix} 25 & 14 \\ 57 & 4 \end{vmatrix} = 69800$$

Hat man auf diese Weise D und D_k und damit x_k ermittelt, kann man die Lösung nach dem Gaußschen Algorithmus bzw. dessen vereinfachter Variante zu Ende führen.

Nachdem nunmehr die Verrechnungspreise für die Leistungseinheiten ermittelt worden sind, verbleibt noch die Berechnung des gesamten Kostenwertes der Leistungsströme. Dies geschieht durch die Multiplikation der Elemente der Leistungsmatrix r_{ij} und U_i mit den Faktoren c_1.

Wir erhalten folgende Kostentabelle

$$c_1R_1 = 25{,}04 \cdot 11 = 25{,}04 \cdot 6 + 25{,}04 \cdot 3 + 25{,}04 \cdot 2$$
$$c_2R_2 = 37{,}32 \cdot 12 = 37{,}32 \cdot 10 + 37{,}32 \cdot 1 + 37{,}32 \cdot 1$$
$$c_3R_3 = 34{,}55 \cdot 17 = 34{,}55 \cdot 8 + 34{,}55 \cdot 4 + 34{,}55 \cdot 5$$

Daraus läßt sich unschwer eine Zahlenmatrix herstellen, da die Zahlungsströme in eindeutig entgegengesetzter Richtung zu den Leistungsströmen verlaufen. Sie lautet in allgemeiner Form

von \ nach	außen	Kostenstelle 1	Kostenstelle 2	Kostenstelle 3
außen	0	$r_{10} \cdot c_1$	$r_{20} \cdot c_2$	$r_{30} \cdot c_3$
1	U_1	0	$r_{21} \cdot c_2$	$r_{31} \cdot c_3$
2	U_2	$r_{12} \cdot c_1$	0	$r_{32} \cdot c_3$
3	U_3	$r_{13} \cdot c_1$	$r_{23} \cdot c_2$	0

Tabelle 10

oder mit den eingesetzten Werten des Beispiels

von \ nach	außen	Kostenstelle 1	Kostenstelle 2	Kostenstelle 3	
außen	0	150,24	373,20	276,40	799,84
1	100	-	37,32	138,20	275,52
2	200	75,12	-	172,75	447,87
3	500	50,08	37,32	-	587,40
	800	275,44	447,84	587,35	2110,63

Tabelle 11

Darin bedeutet, daß z.B. Abteilung 1 für die von 2 empfangene Leistung r_{21} den Betrag von 37,32 DM zu zahlen hat usw.

Schließlich läßt sich durch gegenseitiges Aufrechnen noch ein Verrechnungstableau etwa folgenden Aussehens aufstellen.

von \ nach	außen	Kostenstelle 3	Σ
1	1008,87	-	1008,87
2	80,50	238,77	319,27
	1089,37	238,77	1328,14

Tabelle 12

Daraus ist ersichtlich, daß lediglich die Kostenstellen 1 und 2 zu zahlen haben.

33. Zusammenfassung

Wie dargestellt worden ist, empfiehlt sich die Verrechnung innerbetrieblicher Transportleistungen durch Verwendung eines Transportkostenfaktors. Alle relevanten Kostenarten werden direkt oder indirekt auf die Fördermittel umgelegt. Bezieht der Betrieb alle in Frage kommenden Kostengüter von außen, läßt sich der Transportkostenfaktor über Verbrauchsfunktionen ermitteln. Die Schlüsselung von Gemeinkosten läßt sich dabei nicht vermeiden. Der Transportfaktor ist eine auf die Zeit bezogene Geldgröße. Mit ihm wird - falls die Transportkosten dem Kostenträger nicht direkt zugerechnet werden können - die Zeit, in welcher eine Abteilung ein bestimmtes Fördermittel benutzt, multipliziert und so der Kostenwert des Transportvorganges ermittelt. Es versteht sich, daß man tunlichst die über eine bestimmte Periode (etwa einen Monat) kumulierten Zeiten abrechnet.

Werden bei dem Einsatz von Fördermitteln Kostengüter verbraucht, die im Betrieb selbst erstellt worden sind, so kann eine Lei-

stungsverflechtung dann bestehen, wenn der Betrieb über eine Abteilung "Innerbetrieblicher Transport" verfügt. In solchen Fällen empfiehlt sich die Ermittlung des Transportkostenfaktors (Verrechnungspreises) über die innerbetriebliche Leistungsverrechnung, wobei die Matrizenrechnung die exakteste Methode darstellt.

Der Verrechnung von innerbetrieblichen Transportkosten sind dort Grenzen gesetzt, wo der dafür erforderliche Aufwand in einem ungünstigen Verhältnis zum gewünschten Erfolg steht. Die Kostenrechnung dient der Erfolgsermittlung, der Kostenkontrolle und der Beschaffung von Unterlagen für die Betriebs- und Preispolitik. Wieweit die Kostenrechnung differenziert sein muß, um diesen Aufgaben gerecht zu werden, richtet sich nach der Struktur des Betriebes und nach dem Wert, den der Unternehmer der Kostenrechnung als betriebspolitisches Instrumentarium beizumessen bereit ist. So läßt sich auch etwa auf die Frage, ob die Kosten eines Fahrstuhles in Verwaltungsgebäuden des Betriebes als Transportkosten gesondert festzustellen und auf die dort ansässigen Abteilungen zu verrechnen sind, nicht allgemeingültig beantworten.

Besitzt ein Betrieb Datenverarbeitungsmaschinen, so sollten alle mit dem Transport von Material, Nachrichten und Personen anfallenden Kosten als Transportkosten erfaßt und entweder direkt oder über Kostenstellen auf die Kostenträger verrechnet werden, denn es gibt wohl kaum eine Kostenart für die eine Kontrollbedürftigkeit nicht existiert.

F ü n f t e s K a p i t e l

Wirtschaftlichkeitsrechnung im innerbetrieblichen Transportwesen

1. Wesen und Arten der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Der Betrieb bedarf zur Erfüllung seiner innerbetrieblichen

Transportaufgabe eines bestimmten Einsatzes von Gütern und Leistungen, die zum überwiegenden Teil durch Kauf von anderen Unternehmen oder Haushalten beschafft werden müssen. Damit ist "die Durchführung eines Produktionsprozesses ... notwendigerweise von einem Strom von Auszahlungen begleitet, die durch Kauf in Produktionsmittel eingekleidet" (investiert) werden"[1]. Dem Ausgabenstrom (Zahlungsreihe) für die Investitionen steht in der Regel ein Strom von Einzahlungen (Einnahmenreihe) gegenüber.

Aufschluß über die Wirtschaftlichkeit und die Rentabilität von Investitionen versucht die Wirtschaftlichkeitsrechnung zu geben; sie ist das "wertmäßige Vergleichen verschiedener Möglichkeiten einer Bedarfsdeckung"[2]. Diese Definition steht offenbar im Gegensatz zu den Darlegungen SCHNEIDERs, dessen Fundamentalprinzip I besagt, daß eine Investition dann vorteilhaft ist, wenn ihr Kapitalwert nicht negativ ist[3]. Betrachtet man jedoch - so wie HEISTER es tut[4] - Investitionsvorhaben unter dem Aspekt des ökonomischen Prinzips, kommt man zwangsläufig zu dem Ergebnis, daß das SCHNEIDERsche Fundamentalprinzip I nur von geringem Aussagewert ist. Erst der Vergleich mit anderen Verfahren gibt dem Investor die Möglichkeit, dem ökonomischen Prinzip gemäß zu entscheiden. Daraus folgt auch, "daß es den bisher in der Theorie gemachten Unterschied zwischen 'Investitionsprüfung' einer Investition und 'Investitionsvergleich' mehrere Investitionen nicht geben kann"[5]. Für den Innentransport gilt diese Feststellung im besonderen Maße: Da die Transportaufgabe unabwendbar ist, muß sich der Investor für eine Investition entscheiden; da es weiterhin immer zwei grundlegende Transportverfahren gibt, nämlich Förderung durch

---

[1] Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, 4. Aufl., Tübingen, Zürich 1962, S. 1.

[2] Rummel, K.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 10. Jg., 1936, S. 73.

[3] Schneider, E.; a.a.O., S. 24.

[4] Heister, M.; Rentabilitätsanalyse von Investitionen, Köln - Opladen 1962, S. 30 ff..

[5] Heister, M.; ebenda. Natürlich besteht dieser Unterschied, er ist jedoch unter den obigen Annahmen uninteressant.

Muskelkraft oder Maschinenkraft, wird der Investor von mindestens diesen beiden Grundtypen dasjenige Verfahren auswählen, das den größten positiven oder unter Umständen auch den geringsten negativen Kapitalwert aufweist. Derart beschränkt sich die Wirtschaftlichkeitsrechnung im innerbetrieblichen Transportwesen auf zwei Hauptprobleme:

1. Die Ermittlung des wirtschaftlichsten Transportverfahrens
2. Die Ermittlung der wirtschaftlichsten Lebensdauer von Transportmitteln (Ersatzproblem).

Als Arten von Wirtschaftlichkeitsrechnungen lassen sich nach dem Zeitpunkt ihrer Entstehung nennen:

1. Traditionelle Verfahren
2. Die moderne Investitionstheorie[1]
3. Das MAPI-System[2]
4. Die mathematische Investitionstheorie[3]
5. Die ökonomische Investitionstheorie[4]

Es muß darauf verzichtet werden, die einzelnen Verfahren zu beschreiben, ihre Mängel und Vorzüge zu beleuchten und ihre Unterschiede zueinander herauszustellen. Wir beschränken uns daher auf die Vorführung einiger ausgewählter Verfahren, die im Rahmen des innerbetrieblichen Transportes anwendbar sind.

---

[1] Vgl. das grundlegende Werk von Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O.,

[2] Vgl. das grundlegende Werk von Terborgh, G.; Leitfaden der betrieblichen Investitionspolitik, Wiesbaden 1962.

[3] Es handelt sich dabei um die Bestimmung simultaner Investitions- und Finanzierungsprogramme, vgl. Albach, H.; Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962.

[4] Sie besteht in der Reduktion einer Investitionsentscheidung auf das ökonomische Prinzip als Vorteilsvergleich, vgl. den aufschlußreichen Verstoß in dieser Richtung von Heister, Rentabilitätsanalyse von Investionen, a.a.O.

2. Spezifische Probleme bei Investitionsentscheidungen im Innentransport

Ein Charakteristikum des innerbetrieblichen Förderwesens im Hinblick auf Investitionsentscheidungen besteht darin, daß den Ausgaben für eine Investition keine unmittelbaren Einnahmen - abgesehen von den Liquidationserlösen des zu ersetzenden Investitionsobjektes - gegenüberstehen. Damit scheint die Anwendung einer Reihe von Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnungen, die sich auf den Einnahmen-Ausgaben-Vergleich stützen, nicht möglich zu sein. In der Tat ist das sowohl bei der von HEISTER konzipierten Investitionstheorie als auch bei einigen traditionellen Verfahren, zum Beispiel dem Return of Investment, der Fall.

Anders verhält es sich bei der SCHNEIDERschen Investitionstheorie: Zwar bezieht SCHNEIDER die durch das Investitionsobjekt bewirkten Einnahmen in seine Wirtschaftlichkeitsrechnung ein, doch funktioniert der mathematische Apparat auch bei der Verwendung nur negativer Werte (Ausgaben oder Kosten). Wie wir bereits ausgeführt haben, besteht der eigentliche Inhalt von Wirtschaftlichkeitsanalysen im Vergleichen, es gilt also nicht das SCHNEIDERsche Fundamentalprinzip I, sondern das Fundamentalprinzip II, das den Vergleich mehrerer Kapitalwerte zum Inhalt hat[1]. Diese Kapitalwerte sind bei SCHNEIDER im allgemeinen die Differenzen aus der diskontierten Einnahmenreihe einer Investition minus der entsprechenden diskontierten Ausgabenreihe[2]. Bestehen Einnahmen jedoch nicht, so stellt der Kapitalwert das Ergebnis der Diskontierung von Ausgaben dar. In diesem Falle erfolgt die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit nach dem Minimalprinzip: von mehreren Investitionen ist diejenige am vorteilhaftesten, deren Kapitalwert der Ausgaben am niedrigsten ist.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, daß die Anwendung der modernen Investitionstheorie auf den transportwirtschaftlichen Bereich durchaus praktikabel ist.

---

[1] Vgl. Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O., S. 37-38.

[2] Schneider, E.; a.a.O., S. 15.

Es besteht aber noch eine weitere Möglichkeit, den Erfolg einer Investition im Bereich des Förderwesens durch finanzmathematische Analysen zu ermitteln. Da der Transport ex definitione eine "Spielart der Produktion" darstellt, muß dem durch den Transport bedingten Verzehr von Gütern und Leistungen nach dem Energieprinzip eine bestimmte Leistung gegenüberstehen. Dies ist die sogenannte Transportleistung, die man als Entfernung pro Zeiteinheit, Gewicht pro Zeiteinheit oder Gewicht pro Entfernung quantitativ messen kann. Die physikalischen Maßgrößen erfordern ein monetäres Äquivalent, wenn es darum geht, die Transportleistung der jeweiligen empfangenden Abteilung in Rechnung zu stellen. Da innerbetriebliche Transportleistungen nicht marktfähig sind, bedürfen sie eines innerbetrieblichen Verrechnungspreises, der entweder durch die Selbstkosten des Innentransportes oder als sogenannter Normalpreis[1] ausgedrückt werden kann. Nehmen wir nunmehr an, daß aufgrund langjähriger Kostenermittlungen ein bestimmter Normalpreis für eine pro Zeiteinheit transportierte Tonne Material bestehe und beziehen wir unsere Überlegungen auf einen längeren Zeitraum, so kommen wir zu folgendem Ergebnis: Den geplanten Ausgaben einer Investition stehen geplante (fiktive) Einnahmen in Form von Verrechnungspreisen gegenüber.

Das folgende Beispiel soll zeigen, wie durch die Anwendung von Verrechnungspreisen die Vorteilhaftigkeit einer Investition ermittelt werden kann[2].

Es sei angenommen, ein Betrieb wolle zwei bereits voll abgeschriebene Gabelstapler mit einer Tragfähigkeit von je 2 Tonnen durch ein Förderband ersetzen, dessen gewichtsmäßige und zeitliche Kapazität doppelt so groß wie die beider Gabelstapler zusammen ist. Der Stapler A kann nach einer Reparatur in

---

[1] Vgl. Schmalenbach, E.; Kostenrechnung und Preispolitik, Köln - Opladen 1963, S. 359.

[2] Die in allen folgenden Beispielen verwendeten Daten entstammen Angaben aus der Praxis sowie der Beilage zum Transportberater Nr. 18, 2. Aufl., Januar 1962.

Höhe von 1000 DM noch 5 Jahre eingesetzt werden, die Lebensdauer für den Stapler B beträgt noch 3 Jahre. Die durchschnittlichen variablen Kosten belaufen sich jährlich auf 12000 DM für A und 13000 DM für B. Das Förderband C kostet 35000 DM, die jährlichen Kosten belaufen sich auf 20000 DM zuzüglich 5690 DM Kapitaldienst für eine Lebensdauer von 10 Jahren und einen Zinssatz von 10 %.

Es stehen sich folglich gegenüber:

variable Kosten für A	=	12000
+ variable Kosten für B	=	13000
+ Kapitaldienst für Reparatur A	=	260
		25260

sowie

variable Kosten für C	=	20000
+ Kapitaldienst	=	5690
		25690

Die Einrichtung eines Förderbandes bedeutet folglich einen Mehraufwand von 420 DM pro Jahr.

Hier wird bereits evident, daß diese lediglich auf der Grundlage von Kosten bzw. Ausgaben beruhende Wirtschaftlichkeitsrechnung zu einer falschen Investitionsentscheidung führt. Die doppelte Leistungsfähigkeit pro Zeiteinheit des Förderbandes bleibt unberücksichtigt, denn laut Prämisse befördert das Band die Last beider Gabelstapler in der Hälfte der Zeit. Um die Leistungen der einzelnen Transportmittel vergleichbar zu machen, sei ein Verrechnungspreis von 6,20 DM pro Stunde auf der Basis von 2 Tonnen angenommen. Dieser Preis errechnet sich aus den Selbstkosten des älteren Gabelstaplers zuzüglich des inzwischen fortgefallenen Kapitaldienstes bei einer Beschäftigung von 2300 Stunden im Jahr. Die Planbeschäftigungen der drei Fördermittel sind dem jeweiligen Alter entsprechend verschieden.

Die Erträge ergeben sich wie folgt:

A	2310 Std. á 6,20 DM/h	=	14320 DM
B	2330 Std. á 6,20 DM/h	=	14440 DM
C	2360 Std. á 6,20 DM/h	=	14630 DM
	auf der Basis der doppelten Kapazität also	=	29260 DM

Nunmehr lassen sich die Kapitalwerte der einzelnen Investitionen nach der Diskontierungsmethode[1] ermitteln.

$$C_A = b \cdot \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} - \left(a \cdot \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} + A \right) \quad (1)$$

worin b den jährlichen Ertrag, a die jährlichen Kosten und A den Anschaffungswert bedeuten.

Die Barwerte der Kosten betragen für i = 0,1:

Für A	12000 DM · 3,791	=	45490 DM
Für B	13000 DM · 2,487	=	32330 DM
Für C	20000 DM · 6,144	=	122880 DM

Die Barwerte der Erträge betragen:

Für A	14320 DM · 3,791	=	54280 DM
Für B	14440 DM · 2,487	=	35910 DM
Für C	29260 DM · 6,144	=	179770 DM

Daraus ergeben sich folgende Kapitalwerte:

Für A	54280 - (45490 + 1000)	=	7790 DM
Für B	35910 - 32330	=	3580 DM
	A + B	=	11370 DM
Für C	179770 - (122880 + 35000)	=	21890 DM

[1] Vgl. Schneider, E.; a.a.O., S. 15 ff..

Der Kapitalwert der Investition C ist größer als die Summe der Kapitalwerte von A und B. Die Einrichtung eines Förderbandes stellt damit die vorteilhaftere Investition dar.

Damit sei hinreichend bewiesen, daß Wirtschaftlichkeitsrechnungen im innerbetrieblichen Transportwesen sowohl auf der Basis diskontierter Ausgaben oder Kosten als auch aufgrund von Kapitalwerten aus Einnahmen- und Ausgabenreihen durchführbar sind. Die Schätzung der Einnahmenreihe, d.h. der Verrechnungspreise für die Transportleistung, enthält jedoch ein derartiges Maß an Fehlerquellen, daß der Berechnung der Wirtschaftlichkeit auf der Grundlage lediglich der Kosten oder Ausgaben in der betrieblichen Praxis der Vorrang einzuräumen ist. Wir werden daher unseren weiteren Überlegungen das Modell einer Investition zugrunde legen, die aus einer einmaligen Ausgabengröße A (Anschaffung), einer Reihe sich wiederholender Ausgaben a_1, a_2, ..., a_n (Betriebskosten) und gegebenenfalls aus einer einmaligen Einnahme R (Restwert bzw. Liquidationserlös) besteht.

3. Investitionsrechnung auf der Grundlage von Kosten oder Ausgaben

Bisher wurde keine klare Trennungslinie zwischen den Begriffen Ausgaben und Kosten in der Investitionsrechung gezogen. Die SCHNEIDERsche Konzeption erkennt lediglich die Ausgabe als Kalkül an[1], während die Praxis das Denken in Kostengrößen bevorzugt. Wie LÜCKE[2] nachweist, lassen sich die Methoden der modernen Wirtschaftlichkeitsrechnung auch auf der Grundlage von Kosten anwenden, und zwar entweder durch Einführung kalkulatorischer Zinsen, die - zu den Kosten addiert - den Ausgleich zwischen der Kosten-Diskontierungsreihe und der Ausgabendiskontierungsreihe herstellen und damit die Bedingung Kosten = Ausgaben erfüllen oder durch die Behandlung der In-

[1] Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O., S. 7.

[2] Lücke, W.; Investitionsrechnung auf der Grundlage von Ausgaben oder Kosten? ZfhF 1955, S. 310-324.

vestitionsrechnung als Totalrechnung. "Die Investitionsrechnung, die alle Ausgaben oder Kosten vom Beginn der Investition bzw. zum Ende des Investitionsobjektes in sich begreift, stellt eine Totalrechnung dar. In ihr decken sich Ausgaben und Kosten"[1]. Da innerbetriebliche Fördermittel durch ihre relativ kurze Lebensdauer diese Totalrechnung geradezu erfordern, sind wir in der Lage, Investitionsrechnungen im Bereich des Innentransportes alternativ auf der Grundlage von Kosten oder Ausgaben durchzuführen.

4. Anwendung ausgewählter Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf das Transportwesen

40. Traditionelle Verfahren

Die traditionellen Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung beruhen im wesentlichen auf einfachen Kosten- oder Ausgabenvergleichen zweier oder mehrerer Investitionsobjekte, wobei oftmals nur die geschätzten variablen Kosten periodenweise einander gegenübergestellt werden. Die Ermittlung dieser Kosten beruht vornehmlich auf technischen Daten, die wirtschaftliche Effizienz bleibt unberücksichtigt. Das ist einer der Nachteile sogenannter traditioneller Verfahren; andere Mängel bestehen darin, daß die Kapitalverzinsung nur ungenügend berücksichtigt wird, daß Erträge und Restwerte vernachlässigt werden, daß qualitative Unterschiede nicht in die Investitionsrechnung einbezogen werden und schließlich, daß Berechnungen dieser Art sich nicht über die gesamte Lebensdauer des Investitionsobjektes erstrecken.

Andererseits sind die traditionellen Verfahren leicht und schnell anwendbar, sie eignen sich daher für Entscheidungen über den jeweiligen Einsatz bereits vorhandener Anlagen. Berechnungen dieser Art lassen sich arithmetisch oder graphisch darstellen. Es würde zu weit führen, alle traditionellen Ver-

[1] Lücke, W.; a.a.O., S. 323.

fahren zu entwickeln. Als Beispiel für die Methodik ihrer Anwendung sei hier lediglich eine an FRIEDMANN[1] angelehnte graphische Lösung des Wirtschaftlichkeitsvergleiches aufgezeigt.

Der Betrieb hat die Möglichkeit, zwischen zwei Beförderungsarten zu entscheiden. Bei Verfahren A werden Kartons palettiert mit dem Gabelstapler zum Güterwagen gebracht, dort einzeln und manuell vom Stapler auf den Waggon verladen und zum Bestimmungsort transportiert. Als für die Untersuchung relevante Kosten entstehen dabei die Arbeitskosten für das Be- und Entladen, die Kosten des Gabelstaplers, die Lagerungskosten sowie die Kosten des Güterwagens für die Zeit des Transportvorganges[2].

Im Falle B werden die Transportgüter in den Paletten vom Gabelstapler direkt in den Güterwagen verladen. Da sich das Beladen hierbei verkürzt, verringern sich die Kosten für den Gabelstapler, den Waggon und die Lagerung[3]. Die Arbeitskosten entfallen ganz, dafür kommen die Kosten für den Hin- und Rücktransport der Paletten hinzu. Die Kosten des Palettentransportes sind eine Funktion der Entfernung und stellen somit innerhalb dieser Analyse den einzigen variablen Faktor dar.

Das Diagramm (Abb. 29) zeigt die Gegenüberstellung der beiden Verfahren. Auf den Ordinaten sind die Kosten, auf der Abzisse ist die Entfernung abgetragen. Da im Fall A nur von der Entfernung unabhängige Kosten enthalten sind, ergibt ihre graphische Darstellung eine Parallele zur x-Achse. Verfahren B beinhaltet variable und fixe Kosten, dargestellt als im Ur-

---

[1] Friedmann, F.W.; Are Palletized Chipments economical? Modern Materials Handling, Nov. 1949, S. 18, zitiert nach Immer, J.R.; Materials Handling, a.a.O., S. 250.

[2] Es muß angemerkt werden, daß sich hier unsere Ausführungen von denen Friedmanns lösen. Friedmann beschreibt ein Beispiel aus dem Versandbereich (Außentransport), das wir für die Verhältnisse des innerbetrieblichen Transportes geändert haben.

[3] Ein Umstand, der bei Friedmann nicht berücksichtigt wird.

sprung der fixen Kosten für B beginnende Kurve. Der Schnittpunkt der Kurve mit der Geraden ergibt den break even point. Die Differenz der Kosten des Verfahrens A und der Kosten des Verfahrens B ist gleich O. Rechts von dem auf die Entfernungsachse projezierten break even point wird $K_B > K_A$. Links davon ist das Verfahren B vorteilhafter.

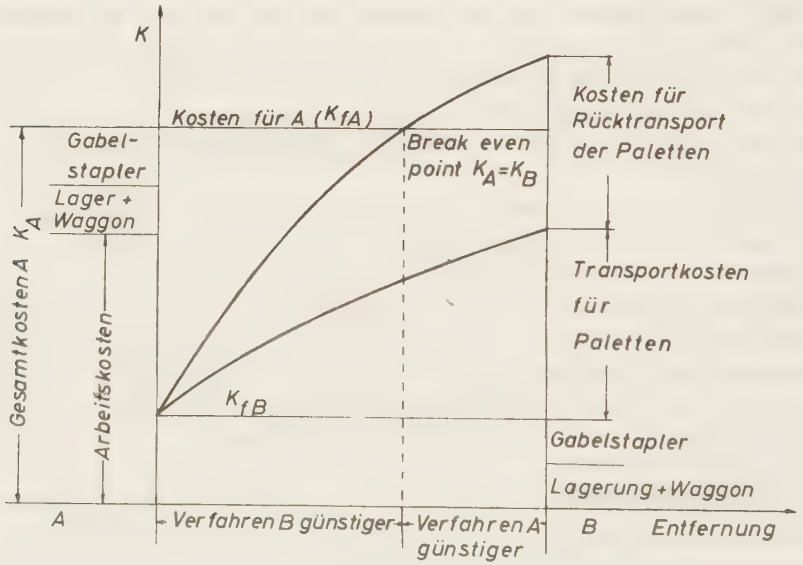


Abbildung 29

41. Die Annuitätsmethode

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung im Sinne von SCHNEIDER[1] bedient sich der Diskontierungsmethode, der internen Zinsfußmethode oder der Annuitätsmethode, wobei alle drei Methoden lediglich in der Rechentechnik voneinander abweichen.

Im Bereich des innerbetrieblichen Transportes bietet sich die

[1] Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O.

Annuitätsmethode[1] als Mittel des Wirtschaftlichkeitsvergleiches an.

Dazu ein Beispiel:

Ein Betrieb bedient sich zur Erfüllung einer bestimmten kontinuierlichen Transportaufgabe zweier 2-Tonnen Gabelstapler, von denen der eine batterie-elektrisch, der andere durch Benzinmotor betrieben wird.

Der Elektro-Stapler ist 3 Jahre alt, seine Lebensdauer beträgt insgesamt 8 Jahre, der Anschaffungswert belief sich auf 20000 DM, der Restwert nach 8 Jahren wird mit 3000 DM angenommen. Die durchschnittlichen jährlichen Kosten setzen sich zusammen aus den Lohnkosten für den Fahrer und den Kosten für Betrieb, Wartung und Reparatur. Sie belaufen sich auf 12600 DM. Der Verkaufswert beträgt z. Z. 12000 DM. Der Benzin-Gabelstapler ist 8 Jahre alt, er kann aber durch den Einbau eines neuen Motors für 2600 DM noch 5 Jahre lang benutzt werden. Seine jährlichen beweglichen Kosten betragen auf der Grundlage von 2400 Stunden pro Jahr durchschnittlich 14100 DM. Der Verkaufswert beläuft sich z.Z. auf 3500 DM.

Die Transportverwaltung will untersuchen, ob ein 4 Tonnen-Elektro-Gabelstapler nicht wirtschaftlicher arbeitet, wenn der Transportvorgang vom technischen Standpunkt aus den Einsatz eines solchen Fördermittels erlaubt. Der in Frage kommende Gabelstapler kostet einschließlich Batterie 45000 DM. Der Veräußerungswert nach 10 Jahren wird auf 4000 DM geschätzt. Die durchschnittlichen variablen Kosten betragen jährlich etwa 16700 DM. Ihren Berechnungen legt die Transportleitung einen Zinssatz von 8 % zugrunde.

Die einzelnen Daten seien der besseren Übersicht wegen wie

---

[1] Schneider, E.; a.a.O., S. 27.

folgt zusammengefaßt:

Stapler	Ansch. Wert	Lebens-dauer	jährl. Kosten	Kosten f.Groß-reparatur	Alter z.Z.	restl. Lebens-dauer	Wert z.Z.	Rest-wert
	(A)		K_V			n	A	R
1	(20000)	(8)	12600	-	3	5	12000	3000
2	(21500)	(10)	14100	2600	8	4	3500	-
3	35000	10	17700	-	0	10	45000	4000

Tabelle 13

Mit Hilfe der Annuitätsmethode läßt sich der jährliche Kapitaldienst ermitteln, der zusammen mit den jährlichen variablen Kosten die Gesamtkosten eines Jahres ergibt.

Die Formel für die Berechnung der Jahreskosten unter Berücksichtigung des Restwertes lautet:

$$K_d = A \frac{q^n(q-1)}{q^n-1} + K_v - \frac{R \cdot i}{q^n-1} \qquad (2)$$

Darin bedeuten:

A = Anschaffungswert
R = Restwert
K_d = durchschnittliche Gesamtkosten pro Jahr
K_v = durchschnittliche variable Kosten pro Jahr

Bezeichnet man mit K_T die durchschnittlichen Kosten der Kapitaltilgung, so gilt für das Beispiel:

1. $(12000 - 3000) \cdot 0{,}25046 + 3000 \cdot 0{,}08 + 12600$

$K_{d1} = K_{T1} + K_{v1} \qquad = 2490 + 12600 \qquad = 15090$

2. $(3500 + 2600) \cdot 0{,}30192 + 14100$

$K_{d2} = K_{T2} + K_{v2} = 1840 + 14100 = 15940$

3. $(45000 - 4000) \cdot 0{,}14903 + 4000 \cdot 0{,}08 + 17700$

$K_{d3} = K_{T3} + K_{v3} = 6430 + 17700 = 24130$

Der sofortige Verkauf der beiden alten Gabelstapler und die Anschaffung eines neuen von doppelter Ladekapazität bedeutet eine jährliche Kostenersparnis von 6900 DM.

Diesem Ergebnis haften die der modernen Investitionstheorie eigenen Mängel an: Die Annahme eines identischen Zuflusses für Einnahmen und Ausgaben, die Ausklammerung von Finanzierungs- und Liquiditätsüberlegungen, die Unsicherheit bei der Schätzung der Kosten und Restwerte, die Vernachlässigung imponderabiler Faktoren und in diesem Falle die Berechnung der Vorteilhaftigkeit der einzelnen Investitionen auf der Grundlage von Kosten anstelle von Ausgaben. Dennoch kann die Annuitätsmethode als eine wertvolle und brauchbare Grundlage der unternehmerischen Investitionsentscheidungen angesehen werden.

Die Richtigkeit des Ergebnisses für das oben angeführte Beispiel läßt sich rechnerisch durch die Anwendung der Diskontierungsmethoden nachweisen. Die jährlichen durchschnittlichen Kosten haben entsprechend der Rentenbarwert-Formel einen Barwert von

$$a \cdot \frac{q^n - 1}{q^n(q-1)}$$

Von diesem Barwert sind die mit q^{-n} diskontierten Restwerte abzuziehen. Somit ergibt sich:

1. $(12600 \cdot 3{,}993) - (3000 \cdot 0{,}6806) = K_{01} = 48270$

2. $(14100 \cdot 3{,}312) + 2600 = K_{02} = \underline{49300}$

$K_{01} + K_{02} = 97570$

3. $(17700 \cdot 6{,}710) - (4000 \cdot 0{,}4632) = 116910$

+ Anschaffungswert	45000
- Tageswert von 1	12000
- Tageswert von 2	3500
- Reparatur von 2	2600
=	26900

$K_{03} = 143810$

$(K_{01} + K_{02}) - K_{03} = 46240$

Diese Differenz muß der Barwert einer Reihe sein, deren Glieder die mit der Annuitätsmethode errechneten jährlichen Einsparungen von 6900 über 10 Jahre darstellen.

$$K_0 = r \cdot \frac{q^n - 1}{q^n(q-1)}$$

$$46240 \sim 6900 \cdot 6{,}71$$

bzw.

$$6900 \sim 46240 \cdot 0{,}149$$

42. Der Einfluß des Ausfallrisikos

Trotz der durch diese Kontrolle bewiesenen mathematischen Richtigkeit unserer Investitionsentscheidung, befriedigt das Ergebnis nicht vollkommen. Jede Investition beinhaltet, wie bereits ausgeführt, eine Reihe von Risiken allgemeiner und spezieller Art. Die Risiken allgemeiner Art liegen in der Existenz des Unternehmens an sich und in dem Wechsel der gesamtwirtschaftlichen Situation begründet, während Risiken spezieller Art durch die Natur des jeweiligen Betrachtungsobjektes gegeben sind. Nun enthält jedes Investitionsobjekt mindestens ein typisches Risiko, das die Investitionsentscheidung maßgeblich beeinflussen kann. Ein solches Risiko sollte man versuchen zu quantifizieren

und mit dem Grad der Wahrscheinlichkeit seines Eintreffens in die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen einzubeziehen.

Im Fall unseres Beispiels ist das typische Risiko besonders evident: Der Ausfall des 4-Tonnen-Fördermittels hat auf den Ablauf der Erzeugung weitaus größere Auswirkungen als der Ausfall einer der beiden kleineren Gabelstapler, denn im letzteren Falle werden immerhin noch 2 Tonnen Material befördert.

Nehmen wir an, die Wahrscheinlichkeiten eines plötzlichen Ausfalles betrügen für den neu zu beschaffenden Gabelstapler 1 %, für die beiden älteren Transportmittel 2 % bzw. 3 % auf der Basis von 2400 Betriebsstunden im Jahr. Ferner sei angenommen, daß der Ausfall des 4-Tonnen-Staplers dem Betrieb 650 DM pro Stunde koste, weil die Erzeugung durch das Fehlen des Nachschubes zum Erliegen kommt. Die vorübergehende Außerbetriebsetzung eines der beiden kleineren Transportmittel betrage aufgrund der Aufrechterhaltung der Fertigung - wenn auch nur mit halber Kraft - und der Möglichkeit zur intensitätsmäßigen Anpassung des verbleibenden Fördermittels nur 100 DM Ausfallkosten. Die Wahrscheinlichkeit, daß beide der älteren Fördermittel während derselben Zeit ausfallen, beträgt $2 \cdot 10^{-2}$. $3 \cdot 10^{-2} = 6 \cdot 10^{-2}$, d.h. 0,06 %, und kann daher vernachlässigt werden.

Wir können folgende Aufstellung vornehmen:

Stapler	Ausfallkosten/h	Ausfallwahrscheinlichkeit	Gesamte Ausfallzeit p. Jahr a.d. Basis 2400 Std.	Ausfallkosten im Jahr
1 (2 to)	100	2 %	48	4800
2 (2 to)	100	3 %	72	7200
3 (4 to)	650	1 %	24	15600

Tabelle 14

Wie ersichtlich, sind die Ausfallkosten von Transportmittel 3 um 3600 DM höher als die Summe der Ausfallkosten von 1 und 2. Wir müssen daher untersuchen, ob unsere vorherige Investitionsentscheidung zugunsten des 4-Tonnen-Staplers aufrechterhalten bleiben kann.

Durch Einbeziehung der Ausfallkosten K_A ergeben sich folgende modifizierte Kapitalwerte:

$$K'_{d1} = K_{T1} + K_{v1} + K_{A1} = 2490 + 12600 + 4800 = 19890 \text{ DM}$$
$$K'_{d2} = K_{T2} + K_{v2} + K_{A2} = 1840 + 14100 + 7200 = 23140 \text{ DM}$$
$$K'_{d3} = K_{T3} + K_{v3} + K_{A3} = 6430 + 17700 + 15600 = 39730 \text{ DM}$$

Die Anschaffung des größeren Fördermittels muß weiterhin befürwortet werden, wenn sich auch die jährliche Kostenersparnis von 6900 DM auf 3300 DM verringert.

In dem Beispiel sind wir von der Annahme ausgegangen, daß der Ausfall des größeren Fördermittels eine Erhöhung der Kosten um 650 DM pro Stunde, der Ausfall eines der beiden kleineren um 100 DM pro Stunde verursachen würde. Die wissenschaftliche Analyse verlangt nunmehr eine Aussage darüber, wie hoch sich die Ausfallkosten für die beiden älteren Fahrzeuge belaufen dürfen, um für sie positiv ins Gewicht zu fallen. Mit anderen Worten: Bei welchem Kostenbetrag erreicht die durch die niedrigeren Ausfallkosten bedingte Vorteilhaftigkeit der beiden 2-Tonnen-Gabelstapler ihren Grenzwert? Die Antwort ist einfach zu finden, wenn das Problem in die allgemeine Form - 1c + 2a + 3b = 0 gebracht wird, wobei die Buchstaben die Ausfallkosten pro Ausfallstunde, die Zahlen die Ausfallwahrscheinlichkeiten bedeuten. Für a = b erhalten wir:

$$5a = c \quad \text{bzw. } a = 0{,}2c \qquad c = \text{const.}$$

Da c mit 650 angenommen wurde, ist a = 130 DM. Von diesem Betrag an entscheiden nicht nur die ursprünglichen Kapitalwerte, sondern auch die wahrscheinlichen Ausfallkosten zugunsten der An-

schaffung des größeren Fördermittels. Andererseits schwindet der auf die Ausfallkosten bezogene Vorteil bei a = b = 100, wenn c > 500 DM

43. Die approximative Annuitätsmethode

Ein einfaches, wenn auch finanzmathematisch nicht exaktes Verfahren zur Ermittlung der durchschnittlichen gesamten Jahreskosten stellt die sogenannte "Methode der linearen Abschreibung und durchschnittlichen Verzinsung dar"[1]. Es handelt sich dabei um die gleichmäßige jährliche Aufteilung der Anschaffungskosten ./. Veräußerungswert am Ende der Nutzungsdauer sowie deren durchschnittliche Verzinsung. SCHNEIDER bezeichnet sie als approximative Annuitätsmethode[2].

Die Formel lautet unter Verwendung der bisher benutzten Symbole

$$K_T = \frac{A - R}{n} + (A - R)\,\frac{c}{2} \cdot \left(\frac{n+1}{n}\right) + R \cdot i \qquad (3)$$

Setzt man die Werte des obigen Beispiels in diese Gleichung ein, so ergeben sich die Kapitaldienste

$$K_{T1} = 2470 \qquad K_{T2} = 1825 \qquad K_{T3} = 6225$$

Der Vergleich mit den durch die Annuitätsmethode ermittelten Jahreskosten der Kapitaltilgung

$$K_{T1} = 2590 \qquad K_{T2} = 1840 \qquad K_{T3} = 6430$$

zeigt, daß in diesem Falle, wo die rechnerischen Ergebnisse, nämlich die durchschnittlichen Gesamtkosten pro Jahr, beider Investitionsmöglichkeiten sehr unterschiedlich sind, die sich ergebende Abweichung vertretbar ist und die approximative Annuitätsmethode angewendet werden kann.

---

[1] Vgl. Handbuch des Industrial Engineering, a.a.O., S. 120.
[2] Schneider, E.; a.a.O., S. 28.

44. Die Mapi-Verfahren

Eine Methode der Wirtschaftlichkeitsrechnung besonderer Art ist das Mapi-Verfahren. Ihr Schöpfer, George TERBORGH[1] stellte aus einem Konglomerat von wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen, empirischen Faustformeln, logischen Prämissen und anfechtbaren Hypothesen zwei sogenannte Mapi-Formeln auf. Die erste dieser Formeln wurde im Jahre 1949 veröffentlicht[2]. Sie hat, wenn man den Worten ihres Urhebers Glauben schenken darf, in Amerika starke Verbreitung gefunden. Es ist wenig ergiebig, sich in die Theorie des Mapi-Systems zu vertiefen, denn sie beruht zum Teil auf Ergebnissen langer Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die theoretisch kaum vorherzubestimmen sind. Trotz grundsätzlicher theoretischer Bedenken gegen die vereinfachenden Prämissen soll die Mapi-Methode hier demonstriert werden in der Hoffnung, daß die praktische Anwendbarkeit des Verfahrens die theoretischen Zweifel zerstreuen möge.

440. Die 1. Mapi-Formel

Wir bedienen uns zur Veranschaulichung eines in seiner Art bereits bekannten Beispiels. Ein Betrieb besitzt zwei 8 Jahre alte, gleichartige 2-Tonnen-Diesel-Gabelstapler, die nur nach einer größeren Reparatur von je 3000 DM weiterverwendet werden können und zwar dann für 5 Jahre. Der Betrieb beabsichtigt, unter Umständen die beiden Fördermittel I und II zum Veräußerungswert von insgesamt 4500 DM zu verkaufen und durch einen neuen 4-Tonnen-Elektro-Gabelstapler III, der einschließlich Batterie 4500 DM kostet, zu ersetzen. Die Gegenüberstellung der Kosten pro Jahr ergibt folgendes Bild:

---

[1] Leiter des amerikanischen Instituts Machinery and Allied Products Institute (Mapi).

[2] Terborgh, G.; Dynamic Equipment Policy, New York 1949.

Kosten	I u. II	III
Instandhaltung und laufende Reparaturkosten	6600	2100
Kraftstoffkosten	8400	-
Schmiermittel	600	350
Batteriekosten und Ladekosten	-	6360
Ausfallrisiko	5000	13000
Fahrerlohn	36000	18000
	56600	39810

Tabelle 15

Die Nettokostenersparnis des Fördermittels I (in der TERBORGH-schen Terminologie der Herausforderer, Challenger), beträgt 16790 DM für das kommende Jahr. Dieser Betrag ist gleichsam die Minderleistung der alten Gabelstapler (Verteidiger, defender). Eine Minderleistung wird auch in den nächsten 5 Jahren eintreten, sofern man die älteren Maschinen beibehält. Den Verlustdurchschnitt des Verteidigers für diesen Zeitraum berechnet man nach einer Variation der Mapi-Formel I. Er beträgt:

$$\text{nächstjährige betriebliche Minderleistung } + \frac{g(n-1)}{2} + \frac{A-R}{n} + \frac{i(a+R)}{2}^{1} \quad (4)$$

Hierin ist

A = derzeitiger Veräußerungswert + Großreparatur; im Beispiel 4500 + 6000 DM

R = Restwert; im Beispiel 1600 DM

n = Anzahl der zusätzlichen Betriebsjahre; im Beispiel 5

i = Prozentsatz; im Beispiel 10 % = 0,10

g ist der Jahres-Steigerungsgrad der betrieblichen Minderleistung. Man ermittelt ihn, indem man den bisherigen Steigerungs-

[1] Unter Verwendung in Deutschland gebräuchlicher Symbole.

grad von 16790 : 8 = 2099 DM (Minderleistung: bisherige Lebensdauer) in die Zukunft projiziert.

Diese Formel besagt: Der durchschnittliche Verlust setzt sich zusammen aus 1. der nächstjährigen Minderleistung aufgrund der höheren Kosten, 2. der durchschnittlichen Steigerung dieser Minderleistung $\frac{g\ (n-1)}{2}$, 3. aus der Abschreibung $\frac{A-R}{n}$ und 4. aus der durchschnittlichen Kapitalverzinsung $\frac{i(A-R)}{2}$.

Durch Einsetzen der Zahlenwerte in die Gleichung ergibt sich ein Verlust des Verteidigers von 23355 DM.

Das Resultat entspricht in etwa den durchschnittlichen jährlichen Ausgaben der approximativen Annuitätsmethode, wobei man jedoch berücksichtigen muß, daß SCHNEIDER mit konstanten jährlichen Betriebsausgaben rechnet.

Die Lebensdauer des Herausforderers soll ebenfalls 8 oder bei Generalüberholung 13 Jahre betragen. Es gilt daher das Verlustminimum für den kürzesten Zeitraum zu finden. Da anzunehmen ist, daß das Verlustminimum nach 8 oder 13 Jahren eintreten wird, berechnet man die entsprechenden Werte für beide Zeitpunkte. Von einem Endveräußerungswert soll dabei abgesehen werden.

Zu diesem Zweck muß die Mapi-Hauptformel I

$$\text{Kapitalkosten + Minderleistung} = \frac{g(n-1)}{2} + \frac{A-R}{n} + \frac{i(A+R)}{2} \qquad (4)$$

nach n differenziert und nach g aufgelöst werden.

$$f = \frac{g}{2} - \frac{A}{n^2} = 0 \qquad g = \frac{2A}{n^2} \qquad (R=0)$$

Den Wert für g in die Hauptformel eingesetzt ergibt:

$$\text{Verlustminimum} = A\ \left(\frac{2n-1}{n^2} + \frac{i}{2}\right) \qquad (5)$$

Bei TERBORGH findet sich an Stelle des Ausdruckes $\frac{i}{2}$ der Ausdruck $\frac{i}{1,4}$ [1]. Es muß sich dabei um einen Erfahrungswert handeln. Aus diesem Grunde benutzen wir die TERBORGsche Formel und erhalten in unserem Beispiel

$$45000 \quad \frac{15}{64} + \frac{0,1}{1,4} = 13760 \text{ DM}$$

und

$$45000 \quad \frac{25}{169} + \frac{0,1}{1,4} = 9870 \text{ DM}$$

Wie das Ergebnis zeigt, ist die sofortige Anschaffung des neuen Fördermittels vorteilhaft, wobei eine Lebensdauer von 13 Jahren eine höhere Wirtschaftlichkeit bedeutet, sofern der Endveräußerungswert nicht wesentlich unter den Kosten der Generalüberholung liegt.

Die Probe nach der Annuitätsmethode zeigt dasselbe Ergebnis.

Mitunter ist es nicht möglich, die Lebensdauer einer Anlage vorherzubestimmen. In solchen Fällen löst man die differenzierte Mapi-Hauptformel nach n auf. Der Wert für n wird in die Hauptformel eingesetzt und man erhält als Verlustminimum

$$\text{Verlustminimum} = 2\,Ag + \frac{iA - g}{2} \qquad (6)$$

Das Verlustminimu des Verteidigers wird also berechnet nach der Formel:

durchschnittliches Verlustminimum

$$= \text{nächstjährige Minderleistung} + \frac{g(n \cdot 1)}{2} + \frac{A-R}{2} + \frac{i(A+R)}{2} \qquad (4)$$

das Verlustminimum des Herausforderers nach den Formeln:

$$\text{durchschnittliches Verlustminimum} = 2Ag + \frac{iA-g}{2} \qquad (6)$$

---

[1] Terborgh, G.; a.a.O., S. 94.

oder

$$\text{durchschnittliches Verlustminimum} = A \left(\frac{2n-1}{n^2} + \frac{i}{1,4}\right) \quad (5)$$

Die Gültigkeit der Mapi-Formel I und ihrer Variationen hängt im wesentlichen von der Exaktheit des Wertes g ab. Wenn TERBORGH diesen Wert durch die Division der augenblicklichen Kostenersparnis durch die Anzahl der Dienstjahre der alten Anlage ermittelt, so geht er offenbar von der Annahme aus, daß die Minderleistung des Verteidigers linear ansteigt. Er schließt gewissermaßen von dem augenblicklichen Zustand auf den Zustand im Zeitpunkt 0 zurück.

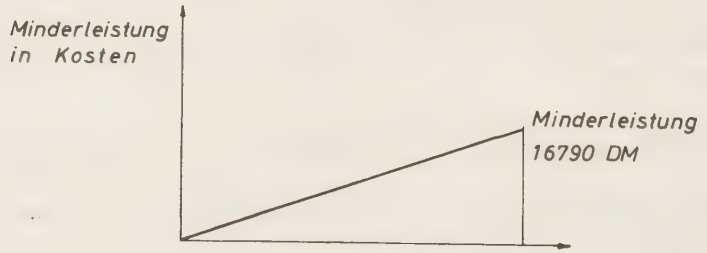


Abbildung 30

Das auf diese Weise ermittelte Steigerungsmaß g der Minderleistung wird auch für die neue Anlage angenommen; eine Prämisse, die manche Angriffsfläche bietet.

441. Die 2. Mapi-Formel

Der ersten Mapi-Formel legte TERBORGH einen linearen Abschreibungsverlauf zugrunde. Durch die Ausweitung auf degressive und digitale Abschreibungsmethoden und die Einbeziehung der Ertragssteuer gelangt er zu einer neuen Konzeption, die wir als Mapi-Formel II bezeichnen wollen[1]. Die erste Formel wird damit zu einem Spezialfall der neuen. Da die Darstellungsweise des zitierten Buches von TERBORGH keine rasche Ableitung

[1] Terborgh, G.; Leitfaden der betrieblichen Investitionspolitik, Wiesbaden 1962.

der Formeln zuläßt - wie das etwa bei SCHNEIDER[1] der Fall ist - wollen wir näher auf die Theorie des Mapi-Systems eingehen.

Wirtschaftlichkeitsrechnungen dienen zum einen der Ermittlung des Gewinns einer zu tätigenden Investition und zum anderen - daraus folgend - der Bestimmung der Rentabilität des Investitionsobjektes. TERBORGH unterscheidet nun zwischen zwei Arten von Gewinnen:

1. dem absoluten Gewinn als Differenz der Kosten und Erträge des Investitionsvorhabens und 2. dem relativen Gewinn als die "Differenz zwischen den Kosten nach Durchführung der Investition und den Kosten, die entstanden wären, wenn man sie nicht getätigt hätte"[2], zuzüglich des absoluten Gewinns. Zur Veranschaulichung dieser wesentlichen Definition möge das folgende Beispiel von TERBORGH dienen[3].

Es existiert eine alte Maschine, deren Betriebskosten am Ende dieses Jahres (des ersten) 50000 DM betragen und jährlich um 1000 DM steigen (Treppenkurve M_a in Abb. 31). Der Ertrag beläuft sich auf 50000 DM in jedem Jahr. Die alte Maschine M_a kann durch eine neue M_o ersetzt werden, die den gleichen jährlichen Ertrag bringt und deren Anschaffungswert 38554 DM beträgt. Die Betriebskosten belaufen sich im ersten Jahr auf 40000 DM und steigen jedes Jahr ebenfalls um 1000 DM[4].

Die absoluten Gewinne betragen im 1. Jahr 10000 DM, im 2. Jahr 9000 DM und nehmen so pro Jahr um 1000 DM ab.

Die relativen Gewinne bleiben für jedes Jahr konstant, da die Zunahme der Betriebskosten für beide Anlagen in gleicher Höhe

---

[1] Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O.

[2] Terborgh, G.; a.a.O., S. 80.

[3] Terborgh, G.; a.a.O., S. 80 ff..

[4] Hier zeichnen sich bereits zwei Parallelen zur Mapi-Formel I ab: Die gleiche Kostenstruktur beider Aggregate sowie der Zeitpunkt der Investitionsüberlegungen: nämlich erst dann, wenn die alte Anlage unrentabel zu werden beginnt.

erfolgt. In Abbildung 31 ist der relative Gewinn durch den Abstand der beiden Kurven M_a und M_o, also dem Unterschied zwischen der betrieblichen Situation mit und ohne Realisierung der Ersatzinvestition, gekennzeichnet. Er beträgt 10000 DM pro Jahr.

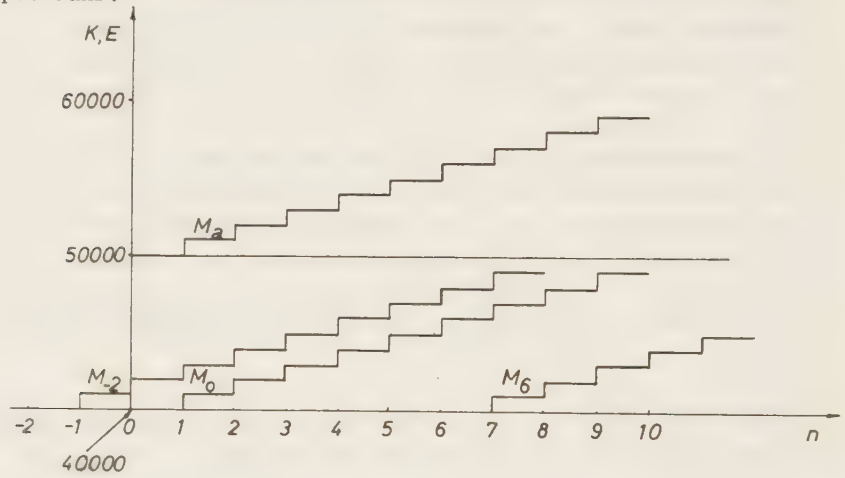


Abbildung 31

Entscheidet sich die Unternehmung für die neue Investition erst zum Zeitpunkt 3, so vergleicht man die Kurven M_a und M_3. Wie ohne weiteres festzustellen ist, weist die Abnahme des absoluten Gewinns den gleichen Verlauf wie bei M_o auf. Der relative Gewinn dagegen hat sich um 3000 DM erhöht. Der Abstand zwischen M_a und M_3 beträgt in diesem Fall für jedes weitere Jahr 13000 DM. Das Hinauszögern der Investition verändert die absoluten Gewinne nicht, hingegen die relativen, die im 6. Jahr bereits 16000 DM betragen. Auch für den Ersatz im Zeitpunkt - 2 (Kurve M-2) sind die relativen Gewinne größer als die absoluten.

Die Kenntnis der relativen Gewinne sind Voraussetzung für den zweiten fundamentalen Begriff des Mapi-Systems: der relativen Rentabilität.

Während die absolute Rentabilität in dem angeführten Beispiel für den Ablauf der 10 Jahre 10 % beträgt, nämlich den Diskontierungssatz, bei dem die Gewinne einen Barwert von 38554 DM (Anschaffungskosten) ergeben, verändert sich die relative Rentabilität mit der Veränderung ihrer Bezugsgröße, des relativen Gewinns. Die relative Rentabilität ist der Diskontsatz bei dem die Summe der diskontierten relativen Gewinne gleich dem investierten Kapital ist. Diese Definition führt uns zu dem Schluß, daß die relative Rentabilität dem internen Zinsfuß[1] gleicht.

In dem Beispiel ergeben sich folgende relative Rentabilitäten:

Für M_{-2} : 44 %	für M_3 : 28,6 %
für M_0 : 22,5 %	für M_6 : 37,3 %

An Hand dieser relativen Rentabilitäten, die durch die Gegenüberstellung der Situation mit und ohne dem neuen Investitionsobjekt zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt worden sind, läßt sich die Investitionsentscheidung vornehmen: Der beste Ersatztermin ist der Beginn des Jahres, für das die niedrigste relative Rentabilität berechnet werden kann.

Damit müssen wir uns der Frage zuwenden, wie die relative Rentabilität zu ermitteln ist. TERBORGH nennt 5 Größen, die als Daten in die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen eingehen[2].

1. Nettoinvestitionsausgaben = a
2. laufender Betriebsgewinn des nächsten Jahres = b
3. vermiedener Kapitalverzehr des nächsten Jahres = c
4. entstehender Kapitalverzehr des nächsten Jahres = d
5. Ertragsteuerbetrag des nächsten Jahres = e

[1] Schneider, E.; a.a.O., S. 10.
[2] Terborgh, G.; a.a.O., S. 99.

Zu a: Die Nettoinvestitionsausgaben bestehen aus den Anschaffungskosten der neuen Anlage minus dem Liquidationserlös der alten Maschine abzüglich des bereitgestellten Geldes für Großreparaturen an der alten Anlage.

Zu b: Der laufende Betriebsgewinn des nächsten Jahres ist die Summe aller Ertragssteigerungen und Kostensenkungen der neuen Anlage gegenüber der alten.

Zu c: Der vermiedene Kapitalwert gibt an, in welchem Maße die Liquidationserlöse der alten Anlage abnehmen werden, vermehrt um die Ausgaben des nächsten Jahres, die anfallen, wenn die Investition nicht vorgenommen wird. Dieser Wert stellt den geringsten Betrag in der Mapi-Formel dar, er mag daher geschätzt werden.

Zu d: Der entstehende Kapitalverzehr des nächsten Jahres bezieht sich auf das neue Investitionsobjekt. Er ist die Differenz zwischen dem Anschaffungswert und dem Restnutzungswert des Investitionsvorhabens am Ende des ersten Jahres.

Der Kapitalverzehr kann mit Hilfe einer Formel, welche Kapitalkosten, Abschreibungen, Gewinnabnahme und Steuern berücksichtigt, berechnet werden.

Die Formel für den Standardverlauf bei digitaler Abschreibungsmethode lautet z.B.[1]:

$$C = \frac{n(Q^n-W^n)\,(Q-1)^2 - (1-b)\,P\,\left[(Q^n-1)-n(Q-1)\right]}{nQ^n(Q-1)-(Q^n-1)} - (Q-1) \qquad (7)$$

Es bedeutet:

C = Kapitalverzehr des ersten Jahres, bezogen auf den Anschaffungswert des Projektes

n = Nutzungsdauer in Jahren

[1] Terborgh, G.; a.a.O., S. 261 ff..

b = Steuersatz als Dezimale

W = Satz der relativen Gewinnabnahme

$P = W^n \left(1-W+py+\frac{(1-p)Z}{1-b}\right)$

Q = 1+(1-b)py+(1-p)Z

p = Verschuldungsgrad

y = Fremdkapitalzinsen

z = Eigenkapitalrentabilität nach Steuern

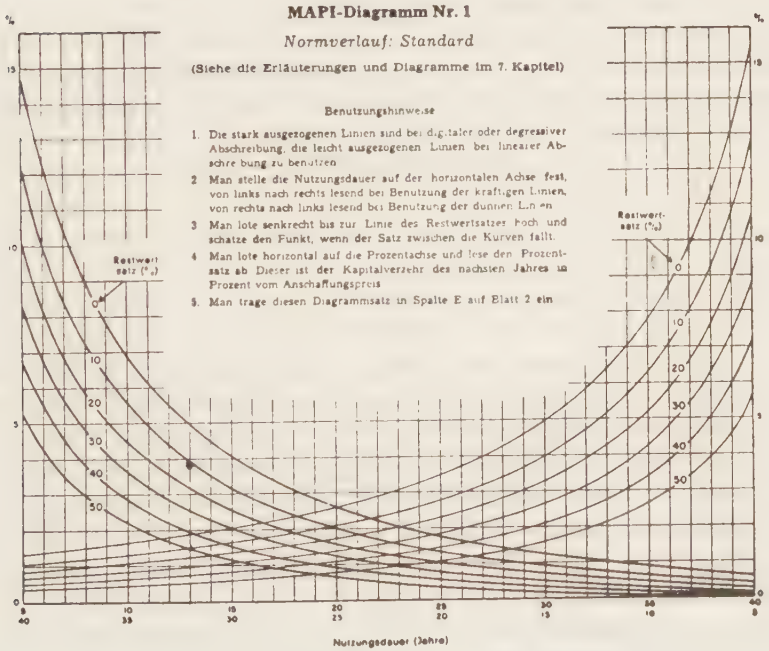


Abbildung 32

TERBORGH nimmt dabei an, daß er mit drei Normverläufen der Gewinnabnahme als Funktion von der Zeit den Kapitalverzehr genau genug berechnen kann.

Da diese Formel kompliziert in ihrer konkreten Anwendung ist, hat TERBORGH ihre Ergebnisse bei verschiedenen Daten als Kurvenschar in Diagrammen aufgestellt, die dem Praktiker zu Benutzung des Mapi-Verfahrens unbedingt zu empfehlen sind. Ein solches Diagramm ist in Abbildung 32 wiedergegeben. Die Handhabung ergibt sich aus den Benutzungshinweisen[1]

Zu e: Infolge unterschiedlicher Steuerabzugsbeträge bei der Situation vor und nach Vornahme der Ersatzinvestition können sich verschieden hohe Ertragssteuerbeträge ergeben, die ebenfalls zu berücksichtigen sind.

Mit Hilfe dieser fünf Größen läßt sich die relative Rentabilität berechnen.

$$R_r = \frac{b + c - d - e}{a} \cdot 100 \qquad (8)$$

Dies ist die Mapi-Formel 2.

Zur Veranschaulichung ein Beispiel:

Die Anschaffungskosten für ein neues Investitionsobjekt betragen 30000 DM, der Liquidationserlös der alten Anlagen 3000 DM, also 10 %. Die Ausgaben für die Investitionen belaufen sich entsprechend auf 27000 DM. Der Betriebsgewinn des nächsten Jahres wird mit 8000 DM angenommen, die Verminderung des Liquidationserlöses der alten Maschine auf 1000 DM geschätzt. Als Restnutzungswert ergibt sich aus dem Diagramm (Abb. 32) bei 15-jähriger Nutzungsdauer des Investitionsobjektes und linearer Abschreibungsmethode unter Berücksichtigung des Restwertersatzes von 10 % ein prozentualer Kapitalverzehr von 4 % vom Abschreibungswert. Entsprechend beträgt der entstehende Kapitalverzehr des nächsten Jahres 1200 DM. Die relative Rentabilität ist dann:

$$K_r = \frac{8000 + 1000 - 1200}{27000} \cdot 100 = 28\ \%$$

[1] Terborgh, G.; a.a.O., S. 175.

Die relative Rentabilität sagt zwar als interner Zinsfuß aus, zu welchem Prozentsatz sich das zu investierende Kapital verzinst. Sie stellt hingegen keinen Wirtschaftlichkeitsvergleich dar. Dieser wird erst erreicht, wenn mehrere relative Rentabilitäten miteinander verglichen werden können.

45. Ersatzmodelle im Operations Research

450. Allgemeine Prämissen

Investitionsrechnungen dienen nicht allein dem Zweck, die Rentabilität geplanter Einnahmen und Ausgaben zu berechnen; ihre breiteste Anwendung finden sie auf dem Gebiet der Wirtschaftlichkeitsüberwachung, das heißt im wesentlichen der Bestimmung des Zeitpunktes, zu dem ein Betriebsmittel beginnt, unwirtschaftlich zu werden und daher zu ersetzen ist.

Untersuchungen über Probleme dieser Art findet man in letzter Zeit in der Operations-Research-Literatur unter der Bezeichnung **Ersatzmodelle**[1].

Es handelt sich dabei um zwei Fälle des Ersatzes: einmal um den Ersatz von Betriebsmitteln mit abnehmender Leistungsfähigkeit und zum zweiten um den Ersatz von Betriebsmitteln oder Werkstoffen, die plötzlich ausfallen. Lediglich der zweite Fall stellt eine tatsächliche Bereicherung der Investitionstheorie durch Operations Research dar, weil die Wahrscheinlichkeit, mit der eine bestimmte Einheit plötzlich versagen kann (Versagerwahrscheinlichkeit) in das Wirtschaftlichkeitskalkül einbezogen wird. Der erste Fall hingegen stellt eine Anwendungsmöglichkeit der SCHNEIDERschen Konzeption der Investitionstheorie dar, wie sie SCHNEIDER selbst auch eingehend behandelt[2], wobei jedoch ein erheblicher Unterschied besteht: Im Gegensatz zu

---

[1] S.u.a. Vazsonyi, A.; Die Planungsrechnung in Wirtschaft und Industrie, Wien und München 1962.
Churchman, C.W., Ackoff, R.L., Arnoff, E.L.; Operations Research, Wien und München 1961.

[2] Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O., S. 71 ff..

SCHNEIDERs Annuitätsmethode werden die Betriebs- und Instandhaltungskosten in der Ersatztheorie als variabel angenommen. Diese wirklichkeitsnahe Prämisse verleiht dem Operations-Research-Modell erhebliches Gewicht[1].

Das Ersatzproblem ist einfach zu formulieren. Es wird der Zeitpunkt gesucht, an dem die Kosten einer tätigen Anlage die Kosten eines gleichartigen, neu zu beschaffenden Betriebsmittels übersteigen. Das Attribut gleichartig bedeutet, daß der Ertrag in der Ersatzentscheidung als Konstante anzusehen ist. Mit fortschreitender Veralterung der Anlage kann diese Forderung nur durch eine erhöhte Zufuhr von Verbrauchsmengen, d.h. durch Zunahme der Kosten erreicht werden. Als wesentliche Daten gehen in die Wirtschaftlichkeitsüberlegungen also lediglich die Kosten der alten und der neuen Anlagen ein.

Behandeln wir z.B. die Frage, nach wieviel Jahren ein 15-Tonnen-Laufkran durch einen neuen gleicher Art ersetzt werden soll, so stellen wir hinsichtlich der relevanten Kosten fest, daß eine Reihe von Kostenarten die Entscheidung nicht beeinflussen. So sind z.B. Lohnkosten, Steuern, Raumkosten usw. für beide Anlagen gleich. Es verbleiben die Betriebs- und Instandhaltungskosten, die wir als monoton steigend zur Zeit annehmen wollen und die Anschaffungskosten.

451. Darstellung des Verfahrens

Der nachstehend beschriebene mathematische Ansatz lehnt sich unter Verwendung deutscher Symbole weitgehend an CHURCHMAN, ACKOFF, ARNOFF[2] an. Das allgemeine Ersatzmodell wird jedoch durch die Einbeziehung eines Restwertes erweitert. Der Wert der Summe aller diskontierten zukünftigen Kosten läßt sich darstellen als eine geometrische Reihe von der Form

$$K_n = A + B_1 + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q^2} + \ldots + \frac{B_n}{q^{n-1}} - \frac{R_n}{q^n}$$

[1] Churchman, Ackoff, Arnoff; a.a.O., S. 440 ff..

[2] Churchman, Ackoff, Arnoff; a.a.O., S. 440 ff..

Darin bedeutet:

A = Anschaffungswert des Fördermittels

B = Betriebs- und Unterhaltungskosten pro Jahr. Sie sind abhängig von der Zeit t, dem Ausstoß x, der technischen Qualität der Betriebsmittel und ihrer Behandlung durch die Bedienungskräfte v und von den bisher erzeugten Einheiten $x_m - x_o$.

$$B = f\ (t,\ x,\ v,\ \int x\ dt)$$

q = $1 + i$ = Zinsfaktor

V = q^{-1} = Diskontfaktor

K_n = Gesamtwert der diskontierten zukünftigen Kosten

R_n = Restwert (Endveräußerungs-, gegebenenfalls Schrottwert)

Soll die Investition nach n Jahren wiederholt werden, so ist der gesamte Ausdruck oben mit dem Diskontfaktor zu multiplizieren und die neu gewonnene Reihe zu der ersten zu addieren. Bei einer permanenten Wiederholung der Investition nach n Jahren ergibt sich:

$$K_n = A + B_1 + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q^2} + \ldots + \frac{B_n}{q^{n-1}} - \frac{R_n}{q^n} +$$

$$+ \frac{1}{q^n} \cdot (A + B_1 + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q^2} + \ldots + \frac{B_n}{q^{n-1}} - \frac{R_n}{q^n}) +$$

$$+ \frac{1}{q^{2n}} \cdot (A - B_1 + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q^2} + \ldots + \frac{B_n}{n-1} = \frac{R_n}{q^n}) + \ldots$$

$$+ \frac{1}{q^{m \cdot n}} \cdot (A + B_1 + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q^2} + \ldots + \frac{B_n}{q^{n-1}} - \frac{R_n}{q^n})$$

Durch Substitution von $\frac{1}{q}$ durch V und nach Summation der Betriebskosten erhält man

$$K_n = (A - R_n V^n + \sum_{j=1}^{n} \frac{B_j}{q^{j-1}})\ (1 + V + V^2 + \ldots + V^{m-1})$$

Da $q > 1$ und somit $V < 1$, stellt der rechte Klammerausdruck eine konvergente Reihe dar, ihre Summe besitzt für $m \longrightarrow \infty$ den Grenzwert:

$$S_{\infty} = \frac{1}{1-V} \text{ allgemein,}$$

beziehungsweise

$$S_m = \frac{1}{1-V^n} \text{ für } m \longrightarrow \infty$$

Damit ist der Gesamtwert aller diskontierten Kosten, d.h. die Geldmenge, die am Zeitpunkt 0 für die Investition und ihre zukünftigen Kosten erforderlich wird:

$$K_n = \frac{A - R_n + \sum_{j-1}^{n} B_j V^{j-1}}{1 - V^n} \qquad (9)$$

K_n ist eine Funktion der Zeit und erreicht sein Minimum offensichtlich dann, wenn n optimal gewählt worden ist. Wird das Betriebsmittel zu früh - etwa nach n-1 Jahren - aus dem Betrieb genommen, liegen die Kosten höher. Dasselbe gilt für den Zeitpunkt n + 1. Bei dem optimalen Ersatzzeitpunkt n finden wir also zwei wesentliche Bedingungen:

$$K_{n+1} > K_n \text{ und } K_{n-1} > K_n$$

oder anders ausgedrückt

$$K_{n+1} - K_n > 0 \quad \text{bzw. } K_{n-1} - K_n > 0$$

Für beide Ungleichungen gilt, daß

$$K_{n-1} > \frac{B_n}{1-V} \quad \text{bzw. } K_n < \frac{B_{n+1}}{1-V}$$

Löst man nach B auf, so erhält man

$$B_n < (1 - V)\, K_n \quad \text{und } B_{n+1} > K_n(1 - V)$$

Setzen wir den Ausdruck $B_n\ (1-V)K_{n-1}$ in die aufgelöste Hauptgleichung (9) ein, wobei wir n durch n-1 substituieren, so erhalten wir ohne Berücksichtigung des Restwertes

$$B_n < (1 - V)\ \frac{(A + B_1 + B_2 + \ldots + B_{n-1}V^{n-2})}{1 - V^{n-1}}$$

$$\text{Da } (1 - V)\ \frac{1}{1-V^{n-1}} = \frac{1}{1 + V + V^2 + V^3 + \ldots + V^{n-2}}$$

$$\text{ist } B_n < \frac{(A + B_1) + B_2V + B_3V^2 + \ldots + B_{n-1}V^{n-2}}{1 + V + V^2 + V^3 + \ldots + V^{n-2}} \qquad (10)$$

Für B_{n+1} ergibt sich analog

$$B_{n+1} > K_n(1-V)$$

$$B_{n+1} > \frac{(A+B_1) + C_2V + B_3V^2 + \ldots + B_nV^{n-1}}{1 + V + V^2 + V^3 + \ldots + V^{n-1}} \qquad (11)$$

Die rechten Seiten der Ungleichungen (10) und (11) stellen das mit den Diskontfaktoren 1, V, V^2, ..., V^{n-1} gewogene arithmetische Mittel aller Kosten dar. Damit kommt man zu der entscheidenden Aussage dieses Verfahrens: "Man nehme eine Ersetzung vor, wenn die Kosten innerhalb des nächsten Zeitabschnittes größer sind als das gewogene Mittel der Kosten in den vorhergehenden Perioden"[1].

Graphisch läßt sich der Ersatzzeitpunkt wie folgt darstellen

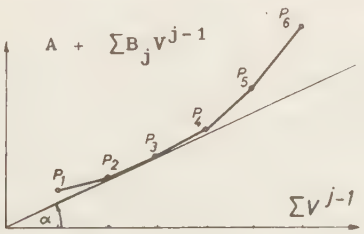


Abbildung 33

[1] Churchman, Ackoff, Arnoff; a.a.O., S. 440.

Auf der Abszisse wird die Summe der Diskontfaktoren ($\sum v^{j-1}$), auf der Ordinate die Summe der diskontierten Kosten ($A+\sum B_j v^{j-1}$) abgetragen. Der Anstieg der Geraden vom Ursprung zu einem beliebigen Punkt P ist gleich dem gewogenen arithmetischen Mittel der bis dahin kumulierten Kosten.

$$tg\alpha = \frac{A + \sum B_j v^{j-1}}{\sum v^{j-1}}$$

Den optimalen Ersatzpunkt erhält man durch die Tangentenlösung; in der Zeichnung P_3.

Nunmehr ist es notwendig, auf den Restwert zurückzukommen. Um die Gleichung (9) auch bei der Berücksichtigung eines Endveräußerungswertes in die Ungleichungen (10) und (11) transformieren zu können, muß das Glied $A - R_n v^n$ in (9) umgeformt werden.

Bekanntlich setzt sich A aus der Summe der diskontierten Kapitaldienstkosten und dem diskontierten Restwert zusammen.

$$A = G_1 + G_2 v + G_3 v^2 + \ldots + G_n v^{n-1} + R_n v^n$$

Darin bedeutet G die Kapitaldienstkosten (Verzinsung und Tilgung oder Abschreibung). Sie lassen sich wie folgt ermitteln:

Nach einem Jahr ist die Summe der verzinsten Wertminderungen und des Restwertes bei vorschüssiger Betrachtung gleich dem verzinsten Anschaffungswert.

$$A_q = G_1 q + R_1$$

$$G_1 = A - \frac{R_1}{q}$$

$$G_2 = R_1 - \frac{R_2}{q}$$

$$G_n = R_{n-1} - \frac{R_n}{q}$$

$$A - R_n V^n = G_1 + G_2 V + G_3 V^2 \ldots G_n V^{n-1}$$

Entsprechend können wir in (1) substituieren und erhalten

$$K_n = \frac{\sum_{j=1}^{n} G V^{j-1} + \sum_{j-1}^{n} B_j V^{j-1}}{1 - V^n} \qquad (12)$$

In (10) und (11) eingesetzt ergibt sich dann

$$G_n + B_n < \frac{(G_1+B_1)+(G_2+B_2)V+(G_3+B_3)V^2+\ldots+(G_{n-1}+B_{n-1})V^{n-2}}{1 + V + V^2 + \ldots + V^{n-2}} \qquad (13)$$

$$G_{n+1}+B_{n+1} > \frac{(G_1+B_1)+(G_2+B_2)V+(G_3+B_3)V^2+\ldots+(G_n+B_n)V^{n-1}}{1 + V + V^2 + V^{n-1}} \qquad (14)$$

Das Auffinden des optimalen Ersatzzeitpunktes geschieht am einfachsten unter Zuhilfenahme einer Tabelle, die aus sieben Spalten besteht und in ihrer allgemeinen Form (d.h. ohne Berücksichtigung des Restwertes) folgenden Kopf hat:

1	2	3	4	5	6	7
j	B_i	V^{j-1}	$B_j V^{j-1}$	$\sum_1^n B_j V^{j-1}$	$\sum_1^n V^{j-1}$	$\frac{\sum_1^n B_j V^{j-1}}{\sum_1^n V^{j-1}}$

Tabelle 16

In Spalte 7 wird die Summe aller diskontierten Kosten der Jahre 1 bis j (Spalte 5) durch die Summe aller Diskontfaktoren (Spalte 6) dividiert. Der Quotient stellt das gewogene arithmetische Mittel aller Kosten bis zum j-ten Jahre dar. Er wird in jeder neuen Zeile mit dem Wert der Spalte 2, d.h. den Kosten des betreffenden Jahres verglichen. Wenn der Wert in

Spalte 7 zum ersten Mal kleiner ist als der Wert der Spalte 2 in der folgenden Zeile, so ist der optimale Ersatzzeitpunkt erreicht.

452. Veranschaulichung des Verfahrens an Hand eines Beispiels

Um die praktische Anwendbarkeit des beschriebenen Verfahrens zu demonstrieren, bedienen wir uns des nach der Annuitätsmethode berechneten Beispiels auf Seite 149.

Es ist zunächst eine Aufspaltung der dort angegebenen - pro Jahr konstanten - Kosten erforderlich. Während wir die Kosten für Batterien, die Ladekosten, die Motorkosten, die Benzin- und Schmierstoffkosten als pro Jahr konstant annehmen wollen, sollen Ersatzteilkosten, Reparatur- und Wartungslöhne mit zunehmendem Alter der Transportmittel steigen.

Transportmittel	Von der Veralterung unabhängige Kosten[1]		Von der Veralterung abhängige Kosten (Reparatur, Wartung) im Durchschnitt DM	Summe der Jahreskosten im Durchschnitt DM
	Fahrerlohn DM	bestimmte Betriebsstoffe DM		
2-To-E-Stapler 1	6168	4392	2040	12600
2-To-B-Stapler 2	6050	4080	3970	14100
4-To-E-Stapler 3	7980	7440	2280	17700

Tabelle 17

Für die Berechnung der Kapitaldienstkosten benötigen wir die Restwerte eines jeden Jahres, die als Veräußerungswerte nicht mit den Buchwerten der Buchhaltung übereinstimmen müssen. Wir

[1] Die Termini sind nicht zu verwechseln mit fixen und variablen Kosten.

gehen von einer leicht konkav gekrümmten Wertminderungs-Kurve aus.

	Stapler 1	Stapler 2	Stapler 3
A	20000	21500	45000
R_1	17000	18600	40900
R_2	14300	16000	36800
R_3	12000	13600	32700
R_4	9800	11300	28600
R_5	7700	9200	24500
R_6	5800	7200	20400
R_7	4300	5300	16300
R_8	3000	3500	12200
R_9	-	1700	8100
R_{10}	-	-	4000

Tabelle 18

Nun sind die Kapitaldienstkosten G zu ermitteln. Wegen der Berücksichtigung von Restwerten lassen sie sich nicht nach der herkömmlichen Formel Anschaffungswert mal Kapitalwiedergewinnungswert berechnen, sondern sie müssen für jedes Jahr nach der beschriebenen Formel

$$G_n = R_{n-1} - \frac{R_n}{q}$$

bestimmt werden.

Für den Stapler 1 erhält man im ersten Jahr:

$$G_1 = A - \frac{R_1}{q} = 20000 - \frac{17000}{1,08} = 4259,70$$

Im zweiten Jahr:

$$G_2 = R_1 - \frac{R_2}{q} = 17000 - \frac{14300}{1,08} = 3759,63$$

usw..

Insgesamt ergibt sich

	Stapler 1	Stapler 2	Stapler 3
G_1	4259	4278	7130
G_2	3759	3786	6826
G_3	3189	3407	6522
G_4	2926	3137	6219
G_5	2670	2781	5915
G_6	2330	2533	5611
G_7	1819	2293	5307
G_8	1522	2059	5004
G_9	-	1926	4700
G_{10}	-	1700	4396

Tabelle 19

Wenn wir uns nun der beschriebenen Tabelle 16 zuwenden, müssen wir berücksichtigen, daß die dort in Spalte 2 aufzuführenden Kosten in dem betreffenden Jahr (B_j) in unserem Beispiel aus 3 Werten bestehen: 1. den fallenden Kapitaldienstkosten G, 2. den steigenden Betriebs- und Reparaturkosten K_v und 3. den gleichbleibenden Betriebskosten K_c [1].

[1] Wenn kein Restwert berücksichtigt wird, wie das bei Churchman, Ackoff, Arnoff der Fall ist, kommt im 1. Jahr (1. Zeile) der Spalte 2 der Anschaffungswert plus Betriebskosten, in der 2. Zeile die (gestiegenen) Betriebskosten des 2. Jahres usw..

Um uns der bei CHURCHMAN, ACKOFF, ARNOFF angeführten Tabelle anzupassen, addieren wir G, K_v und K_c und nehmen auch die Lohnkosten des Fahrers in das Datenmaterial auf. Letzteres geschieht aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der Durchrechnung des Beispiels nach der SCHNEIDERschen Annuitätsmethode. Die Lohnkosten und die von der Veralterung unabhängigen Betriebskosten belasten den praktischen Rechenprozeß lediglich, da sie auf die Änderung des Durchschnittes keinen Einfluß haben. Aus den eben genannten Gründen seien sie trotzdem in das Tableau aufgenommen. Die letzte Spalte der Tabelle 20 weist die Gesamtkosten B auf.

Mit den so gewonnenen Werten für alle B_j können wir mit dem formalen Prozeß der Investitionsrechnung beginnen (Tabelle 21).

Die tabellarische Ausrechnung liefert uns zunächst folgende Ergebnisse:

1. Der Stapler 1 ist bei geplanter Verwendung eines gleichen Typs nach Ablauf des dritten Jahres zu ersetzen, weil eine dreijährige Lebensdauer minimale Durchschnittskosten bedeutet. Im 4. Jahre liegen die gesamten Kosten über den Durchschnittskosten. Dieser frühe Ersatzzeitpunkt liegt neben den progressiven Kosten in dem relativ hohen Veräußerungswert (Restwert) begründet.

2. Die optimale Lebensdauer des 2. Staplers beträgt 8 Jahre. Die Unternehmung betriebe also dann eine richtige Ersatzstrategie, wenn sie beide Stapler zum jetzigen Zeitpunkt durch gleichartige neue ersetzt und diese wiederum nach drei, bzw. acht Jahren gegen neue austauscht.

Unsere Frage ging jedoch weiter. Es sollte untersucht werden, ob und wann die beiden kleinen Fördermittel gegen ein größeres einzutauschen seien. Im nächsten Jahr betragen die Gesamtkosten der kleineren Gabelstapler: $B_4^1 + B_9^2 = B_{n+1}^{1,2}$, in Zahlen: 15299 + 17226 = 32525. Tabelle 21 zeigt, daß sich die Durchschnittskosten des größeren Staplers in ihrem Minimum, d.h. bei einer Lebensdauer von 9 Jahren, auf 2393 DM belaufen, also unter den Kosten der kleineren Fördermittel liegen.

Stapler 1

	G_j	KV_j	K_c	Lohn	B_j
1	4259	453	4392	6168	15272
2	3759	907	4392	6168	15226
3	3159	1369	.	.	15109
4	2926	1813	.	.	15299
5	2670	2267	.	.	15497
6	2330	2720	.	.	15610
7	1819	3173	.	.	15552
8	1522	3627	4392	6168	15709

Stapler 2

	G_j	KV_j	K_c	Lohn	B_j
1	4278	3350 [1]	4080	6050	17758
2	3786	2920	4080	6050	16836
3	3407	2990	.	.	16527
4	3137	3170	.	.	16437
5	2781	3370	.	.	16281
6	2533	3670	.	.	16333
7	2293	4020	.	.	16443
8	2059	4470	.	.	16659
9	1926	5170	.	.	18400
10	1700	6570	4080	6050	18400

Stapler 3

	G_j	KV_j	K_c	Lohn	B_j
1	7130	1360	7440	7980	23910
2	6826	1450	7440	7980	23696
3	6522	1600	.	.	23542
4	6219	1740	.	.	23379
5	5915	2130	.	.	23465
6	5611	2210	.	.	23241
7	5307	2530	.	.	23257
8	5004	2720	.	.	23144
9	4700	3350	.	.	23470
10	4396	3710	7440	7980	23526

Tabelle 20

[1] Einschließlich 480 DM Anlaufkosten.

Stapler 1

1	2	3	4	5	6	7
j	Gesamte Kosten B_j	Diskont-faktor v^{j-1}	Diskont. Kosten $B_j v^{j-1}$	Summe 4 $\sum_1^j B_j v^{j-1}$	Summe 3 $\sum_1^j v^{j-1}$	Durchschnitts-kosten (5 : 6) $\sum_1^j B_j v^{j-1} : \sum_1^j v^{j-1}$
1	15272	1,0000	15272	15272	1,0000	15272
2	15226	0,9259	14098	29370	1,9259	15250
3	15109	0,8573	12953	42323	2,7832	15207
4	15299	0,7938	12144	54467	3,5770	15277
5	15497	0,7350	11390	65857	4,3120	15272
6	15610	0,6806	10624	76481	4,9926	15319
7	15552	0,6302	9800	86281	5,6228	15345
8	15709	0,5835	9166	95447	6,2063	15380

Stapler 2

1	2	3	4	5	6	7
1	17758	1,0000	17758	17758	1,0000	17758
2	16836	0,9259	15588	33346	1,9259	17315
3	16527	0,8573	14169	47515	2,7832	17072
4	16437	0,7938	13048	60563	3,5770	16931
5	16281	0,7350	11966	72529	4,3120	16820
6	16333	0,6806	11116	83645	4,9926	16754
7	16443	0,6302	10362	94007	5,6228	16719
8	16659	0,5835	9720	103727	6,2063	16713
9	17226	0,5403	9307	113034	6,7466	16754
10	18400	0,5002	9203	122237	7,2468	16868

Stapler 3

1	2	3	4	5	6	7
1	23810	1,0000	23910	23910	1,0000	23910
2	23696	0,9259	21940	45850	1,9259	23807
3	23542	0,8573	20182	66032	2,7832	23725
4	23379	0,7938	18558	84590	3,5770	23648
5	23465	0,7350	17247	101837	4,3120	23617
6	23241	0,6806	15818	117655	4,9926	23566
7	23257	0,6302	14656	132311	5,6228	23531
8	23144	0,5835	13505	145816	6,2063	23495
9	23470	0,5403	12681	158497	6,7466	23493
10	23526	0,5002	11768	170265	7,2468	23495

Tabelle 21

Dasselbe gilt für den gegenwärtigen Betrachtungszeitpunkt und galt bereits im 1. Betriebsjahr des 1. Staplers, wie man sich an Hand der Tabellen leicht überzeugen kann. Der Betrieb hätte also vor 3 Jahren von dem Kauf des Staplers 1 absehen müssen und statt dessen Stapler 2 verkaufen und das größere Transportmittel kaufen sollen. Denn zu jedem Zeitpunkt gilt die Ungleichung

$$B_{m+1}^{1,2} > K_n'(1 - V)$$

wobei $K_n'(1 - V)$ die Durchschnittskosten des neuen Fördermittels bei optimaler Lebensdauer darstellen.

Zu demselben Ergebnis gelangt man durch den Vergleich der Barwerte nach Formel (9) bzw. (12), deren Zähler aus den Spalten 5 abgelesen werden kann. Die Summe der diskontierten Kosten ist dann lediglich durch $1 - V^n$ zu teilen.

$$\begin{aligned} & K_3^1 = 42323 : (1 - V^3) = 205251 \\ + \; & K_8^2 = 103727 : (1 - V^8) = \underline{225592} \quad 430844 \\ & K_9^3 = 158497 : (1 - V^9) = \qquad\quad 317121 \end{aligned}$$

Die drei Beträge stellen die Geldmengen dar, die zum Zeitpunkt 0 erforderlich waren, um alle zukünftigen Kosten einschließlich der Anschaffungspreise bei fortdauernder Ersetzung zum optimalen Zeitpunkt bezahlen zu können. Wie man sieht, übersteigen die Barwerte der beiden kleineren Fördermittel den Barwert des großen um 113723 DM.

453. Die Verbindung zu der Konzeption von E. SCHNEIDER

Das Ergebnis läßt erkennen, wann bestimmte Anlagen ihre optimale Lebensdauer erreicht haben. Es zeigt aber gleichzeitig, daß ihre Substitution durch neue, leistungsstärkere Aggregate nicht unbedingt erst bei Erreichen dieser zeitlichen Grenze erfolgen muß. Die optimale Strategie kann nur durch den

Vergleich der nächstjährigen Gesamtkosten der älteren Anlagen mit den minimalen Durchschnittskosten der neu zu beschaffenden Fördermittel erreicht werden.

Die aus dem Beispiel resultierende Notwendigkeit, die älteren Transportmittel durch das neue, größeren Typs zu ersetzen, ergab bereits die SCHNEIDERsche Annuitätsmethode. Mit ihrer Hilfe den optimalen Ersatzzeitpunkt zu bestimmen, erfordert rechentechnisch einen größeren Aufwand. Werden die Betriebskosten als progressiv steigend angenommen, so kann sie keine Anwendung finden, zumindest sind ihre Ergebnisse dann nicht exakt.

In seiner Behandlung von Ersatzproblemen[1] ist SCHNEIDER von der Prämisse konstanter Durchschnittskosten pro Jahr abgewichen. Durch Einführung einer stetigen Verzinsung erreicht er eine steigende Gesamtkostenkurve, durch deren Differentiation er Grenzkosten in Bezug auf die Zeit erhält. Die ersten Zeilen eines von ihm angeführten Beispiels verdeutlichen diesen Sachverhalt[2].

Jahr	Betriebs- und Instandhaltungskosten	Altwert	durchschnittliche Nettoausgaben	Gesamtkosten in bezug auf die Zeit
0	10000 (A)	-	-	-
1	100	6000	4800	4800
2	150	5600	2949,84	970
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

Tabelle 22

[1] Schneider, E.; Wirtschaftlichkeitsrechnung, a.a.O., S. 75 ff..
[2] Schneider, E.; a.a.O., S. 89.

Die durchschnittlichen Nettoausgaben werden nach der Formel

$$C_{00} \cdot i = \left[\sum_{0}^{n} B(t) \cdot (1+i)^{-t} + A - R(n) \cdot (1+i)^{-n} \right] \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (15)$$

errechnet und stellen dem Inhalt nach die Durchschnittskosten der Operations-Research-Mathode dar. Die Grenzkosten sind als Differenzkosten ermittelt. Für das zweite Jahr z.B.

$$B(t) + R'(t) + R \cdot i = 150 + 400 + 6000 \cdot 0{,}07 = 970$$

Sie gleichen den gesamten Kosten B_j bei jährlicher Verzinsung des Verfahrens nach CHURCHMAN, ACKOFF, ARNOFF.

Die graphische Darstellung der Grenzkosten und Nettoausgaben[1] hat ebenfalls für die Operations-Research-Methode Gültigkeit, wenn man die relevanten Kosten als monotone Kurven über die Zeit darstellen wollte und zeigt anschaulich die innere Identität beider Betrachtungsweisen.

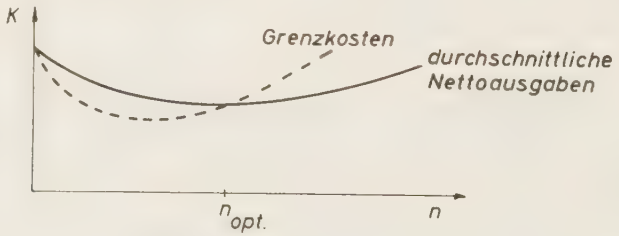


Abbildung 34

Die praktische Unhaltbarkeit der Prämisse einer stetigen Verzinsung und die rechentechnisch leichtere Handhabung des Verfahrens nach CHURCHMAN, ACKOFF, ARNOFF geben diesem jedoch den Vorzug für die Erfordernisse der Praxis .

[1] Schneider, E.; a.a.O., S. 87.

Sechstes Kapitel

Die organisatorische Rationalisierung des innerbetrieblichen Transportwesens

1. Zum Begriff der organisatorischen Rationalisierung

Unter Rationalisierung verstehen wir die Verbesserung des betrieblichen Kombinationsprozesses unter dem Postulat der Wirtschaftlichkeit. Es handelt sich dabei stets um eine periphere[1] oder alternative[2] Substitution. Keinesfalls kann man sagen, daß Rationalisierung allgemein die Ersetzung menschlicher Arbeitskraft durch Maschinen ist. Die Rationalisierung dient der Steigerung der Wirtschaftlichkeit, demzufolge entscheiden die Preise der Produktionsmittel über die Art der Substitution. Eine zur Mechanisierung oder gar Automation führende Rationalisierung ist nicht zuletzt auf eine Verknappung und Verteuerung des Faktors Arbeit zurückzuführen.

Rationalisierungsmaßnahmen gibt es in vielfältiger Zahl und Form. Sie alle lassen sich auf zwei Grundarten zurückführen, die wir als technische und organisatorische Rationalisierung bezeichnen wollen. Die technische Rationalisierung folgt dem jeweiligen Stand der Technik. Es handelt sich dabei um den oben beschriebenen Substitutionsprozeß, soweit er wirtschaftlich vertretbar ist. Diese Art der Rationalisierung tritt im innerbetrieblichen Transportwesen besonders prägnant in Erscheinung. Automatisierung und Automation fanden hier ein weites Feld, wie die Entwicklung von Fließbändern und Transferstraßen zeigt. Was oberflächlich als automatisierte Fertigung bezeichnet wird, ist zu einem guten Teil automatisierter Transport. Dieser Tatbestand veranlaßt ILLETSCHKO[3] zu der Gleichsetzung von Automation mit Transportation.

---

1 u. 2 Gutenberg, E.; Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Band, a.a.O., S. 204.

3 Illetschko, L.; Innerbetrieblicher Transport und betriebliche Nachrichtenübermittlung, a.a.O., S. 9.

Die Tatsache, daß viele termini technici der Automation aus dem Sprachgebrauch des Transportwesens stammen, läßt den Schluß zu, daß am Anfang der Automation die Automatisierung des Förderwesens stand.

Fragen der technischen Rationalisierung sollen in erster Linie dem Techniker vorbehalten bleiben, dessen Aufgabe darin besteht, zu untersuchen, welche Rationalisierungsmaßnahmen möglich und durchführbar sind. Der Betriebswirt entscheidet dann über die wirtschaftliche Anwendbarkeit. Wir wollen uns daher der zweiten Rationalisierungsart zuwenden.

Die organisatorische Rationalisierung ist stationärer Natur. Es wird versucht, unter gegebenen Umständen die Kombination der Produktionsfaktoren zu optimalisieren. Mit anderen Worten: Die vorhandenen Faktoren sollen einander in der Art zugeordnet werden, daß ein maximaler Ertrag bei gegebenem Input oder ein Minimum an Kosten bei gegebenem Ertrag erzielt werden kann.

Während die technische Rationalisierung die quantitative oder qualitative Vermehrung mindestens eines und die entsprechende Verminderung eines anderen Elementarfaktors verlangt, beschränkt sich die organisatorische Rationalisierung auf die Verbesserung der Zuordnung und Ausnutzung vorhandener Betriebsmittel mit dem Ziel, den Faktoreinsatz einzuschränken oder den Output zu erhöhen. Sie hat demnach eine qualitative Aufgabe.

2. Transportmodelle im Operations Research

Seit den Pionieren der Rationalisierung, etwa TAYLOR, GILBRETH und ATZLER, bilden Bewegungsvorgänge den wesentlichen Inhalt leistungssteigender Untersuchungen. Heute ist es besonders das Operations Research, das sich mit der Lösung von Transportproblemen befaßt. Man kann sogar sagen, daß Transport-, d.h. Bewegungsprobleme, ebenso am Anfang des Operations Research stan-

den wie seinerzeit Bewegungsstudien am Anfang der Rationalisierung überhaupt.

In der mathematischen Terminologie lassen sich Transportprobleme in der Regel wie folgt fassen:

Bestimmte Mengen von Transportobjekten sind von den Absendeorten 1, 2, ..., m zu den Empfangsorten 1, 2, ..., n mit einem Minimum von Kosten zu befördern. Bezeichnet man die Kapazitäten der Verladepunkte mit a_1, a_2, ..., a_m, die der Empfangspunkte mit b_1, b_2, ..., b_n, die von i nach j beförderten Mengen mit x_{ij} und die Transportkosten von i nach j mit c_{ij}, so müssen folgende Ungleichungen beachtet werden:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, m;\ j = 1, 2, \ldots, n) \tag{1}$$

$$\sum_i x_{ij} = b_j \quad (j = 1, 2, \ldots, n) \tag{2}$$

$$\sum_j x_{ij} \leq a_i \quad (i = 1, 2, \ldots, m) \tag{3}$$

Im innerbetrieblichen Transport kann man jedoch davon ausgehen, daß

$$\sum_j b_j = \sum_i a_i \quad \text{ist.}$$

Unter den oben angeführten Nebenbedingungen sind die Transportkosten zu minimieren.

$$\sum_{ij} c_{ij} x_{ij} = \text{Minimum!}$$

21. Lösung mit Hilfe der Distributionsmethode

Probleme dieser Art lassen sich mit Hilfe der Distributionsmethode lösen[1]. Ein Beispiel soll die Rechentechnik erläutern.

[1] Angermann, A.; Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 166 ff..

Aus den Lägern a_1 und a_2 sind die Fertigungsstellen b_1, b_2 und b_3 zu beliefern.

Die Kosten (oder Entfernungen) c_{ij} bilden in dem folgenden Tableau die innere Matrix, während die Kapazitäten in der äußeren Spalte bzw. Zeile zu finden sind.

Läger	Fertigungsstellen b_1	b_2	b_3	
a_1	2	5	1	20
a_2	3	4	6	17
	12	10	15	

Wenn keine Degenerationen auftreten, enthält die optimale Lösund eine Aktivität weniger als die Summe der Zeilen und Spalten[1]. Die daher unbenutzten Routen zu finden, ist der wesentliche Inhalt der Transportmethode.

Bezeichnen wir die von a_1 nach b_1 transportierte Menge mit x und die von a_1 nach b_2 transportierte Menge mit y, so ergibt sich folgender Ansatz[2].

	b_1	b_2	b_3
a_1	x	y	20-x-y
a_2	12-x	10-y	x+y-15

Daraus leiten sich als Nebenbedingungen ab:

---

[1] Angermann, A.; a.a.O., S. 169.

[2] Vgl. dazu Vazsonyi, A.; Die Planungsrechnung in Wirtschaft und Industrie, a.a.O., S. 59 ff..

$x \geqq 0$ $\qquad\qquad$ $y \geqq 0$

$x + y \leqq 20;$ $\qquad\qquad$ $x \leqq 12$

$x + y \geqq 15;$ $\qquad\qquad$ $y \leqq 10$

Die Multiplikation der unbestimmten Mengen mit den entsprechenden Kostenwerten ergibt die Zielfunktion:

$$K = 2x + 5y + 20 - x - y + 36 - 3x + 40 - 4y + 6x + 6y - 90$$

$$K = \frac{2}{3}x + y + 1$$

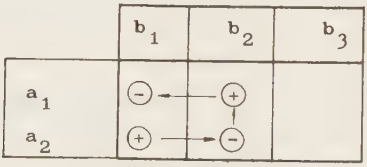
Bei der Behandlung derartiger Probleme empfiehlt es sich, zwei Matrizen einzurichten: die der Kosten c_{ij} und die der Mengen x_{ij}. Bei der letzteren geht man zunächst von einer möglichen Lösung aus, die sich sehr schnell nach der von DANTZIG entwickelten Nordwesteckenmethode[1] ermitteln läßt. Man beginnt in der linken oberen Ecke und belegt sie mit dem kleineren Wert der Größen a_1 und b_1. Im Beispiel ist das die Menge 12. Die Randbedingung b_1 ist damit erfüllt, jedoch ist $a_1 > b_1$, daher geht man in horizontaler Richtung weiter nach x_{12}. Dieses Feld wird mit dem Wert 8 belegt, so daß nun a_1 ausgeschöpft ist, b_2 hingegen noch einen Bedarf aufweist. Der nächste Schritt führt dementsprechend in vertikaler Richtung zu x_{22}. In dieser stufenförmigen Verteilung unter Wahrung der kapazitativen Beschränkungen fortfahrend, erreicht man schließlich die rechte untere Ecke und damit eine erste Lösung mit $K = 162$.

	b_1	b_2	b_3	
a_1	12	8	0	20
a_2	0	2	15	12
	12	10	15	

[1] Dantzig, G.B.; Application of the Simplex Method to a Transportation Problem, in: Koopmans, T.J.; Activity Analysis of Production and Allocation, New York 1951, S. 359 ff..

Die Prüfung dieser Lösung auf eine mögliche Verbesserung führt zu zwei Fragen: 1. Bringt die Belegung der unbenutzten Routen eine Verbesserung, und 2. mit welchen Mengen können diese 0-Felder besetzt werden?

Mengenverschiebungen dürfen nur unter Einhaltung der Nebenbedingungen erfolgen, d.h. bei vier Feldern muß ein Feld zugunsten eines neuen eine Null erhalten:



Der Verteilungspfad verläuft also abwechselnd in horizontaler und vertikaler Richtung und ist abwechselnd mit einem Plus- und Minuszeichen zu versehen. Bei größeren Aufgaben ist auch eine Route mit mehrfacher Richtungsänderung möglich.

Die Pfade - im Beispiel zwei, nämlich x_{13} und x_{21} - müssen nun hinsichtlich ihrer Vorteilhaftigkeit geprüft werden. Dazu bedient man sich der Kostenmatrix. Entsprechend den Plus- oder Minuszeichen addiert und subtrahiert man die Kostenbeträge entlang der Route und erhält so einen neuen Wert für ein bisheriges Leerfeld. Im Beispiel für x_{13} : $-5+4-6+1=-6$ für x_{21} : $+2$. Das Minuszeichen läßt erkennen, daß mit der Belegung des Feldes a_1/b_3 eine Grenzkosteneinsparung von 6 Geldeinheiten verbunden ist.

Die Frage nach der Menge x_{13} wird wiederum mit Hilfe der Mengenmatrix geklärt. Die Felder der Route $x_{13} - x_{12} - x_{22} - x_{23}$ werden abwechselnd mit Minus- und Pluszeichen versehen. Nur der kleinste der beiden positiven Werte kommt für einen Tausch in Betracht, weil anderenfalls die Randbedingungen nicht ein-

gehalten würden.

	b_1	b_2	b_3
a_1	12	+8	
a_2		-2	+15

Die neue Verteilung hat folgendes Aussehen:

	b_1	b_2	b_3
a_1	12		8
a_2		10	7

Die Gesamtkosten betragen 114 Geldeinheiten. Die Ersparnis beträgt 8 Mengeneinheiten mal 6 Geldeinheiten = 48 GE.

Ein Blick auf die Kostenmatrix zeigt, daß das freie Feld a_2/b_1 über die Route $a_2/b_3 - b_3/a_1 - a_1/b_1 - b_1/a_2$ einen negativen Wert erhält, nämlich - 4. Der letzten Mengenmatrix zufolge können 7 Einheiten vertauscht werden. Das führt zu der Verteilung:

	b_1	b_2	b_3
a_1	5		15
a_2	7	10	

mit einem Kostenbetrag von 86. Diese Lösung ist optimal, da bei der Bewertung der noch freien Felder nur positive Grenz-

kosten entstehen[1].

21. Lösung mit Hilfe der Simplexmethode

Die klassische Methode zur Lösung von Zielfunktionen in Linearform unter bestimmten Nebenbedingungen ist die von DANTZIG entwickelte Simplexmethode[2]. Die Besonderheit bei Transportproblemen besteht darin, daß sämtliche Koeffizienten der Beschränkungen den Wert 1 besitzen. Es empfiehlt sich daher, die Minimumaufgabe unter Anwendung des Dualitätstheorems in eine Maximumaufgabe zu transformieren. Das geschieht, indem man durch Addition der c_{ij}-Werte zu einem entsprechend hohen negativen Betrag eine Komplementärmatrix bildet, deren Basiswerte negativ sind. Der iterative Prozeß der Simplexmethode ist beendet - und die optimale Lösung gefunden - wenn alle Basiswerte positiv sind[3].

Wählen wir als Ergänzungswert -10, so erhalten wir im Beispiel an Stelle der Minimumaufgabe

$$2x_1 + 5x_2 + x_3 + 3x_4 + 4x_5 + 6x_6 = K = \text{Minimum}$$

das duale Problem

$$-8x_1 - 5x_2 - 9x_3 - 7x_4 - 6x_5 - 4x_6 = G = \text{Maximum},$$

Durch die Einführung von Schlupfvariablen transformiert man die Beschränkungen in Gleichungen und erhält als Ausgangsmatrix:

---

[1] Hinsichtlich möglicher Degenerationen, s. Angermann, A.; Entscheidungsmodelle ..., a.a.O., S. 177 ff..

[2] Dantzig, G.B.; Maximitation of linear function of variables subject to linear inequalities, in: Koopmans, T.J.; Activity analysis ..., a.a.O.

[3] Zum Dualitätstheorem s. Angermann, A.; Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 184 und 207.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
y_1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	20
y_2	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	17
y_3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	12
y_4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	10
y_5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	15
	-8	-5	-9	-7	-6	-4	0	0	0	0	0	

Nach vier Schritten ergibt sich die optimale Lösung aus der Matrix

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
x_1	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	-1	5
x_5	0	1	0	0	1	0	1	1	-1	0	-1	10
x_4	0	-1	0	1	0	1	-1	0	1	0	1	7
y_4	0	0	0	0	0	0	-1	-1	1	1	1	2
x_3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	15
	0	2	0	0	0	4	7	6	1	0	2	282

$$x_1 = 5; \quad x_3 = 15; \quad x_4 = 7; \quad x_5 = 10$$

Die Literatur über Lineare Programmierung bietet einige weitere Verfahren, die im Grunde Varianten und Ergänzungen der beiden aufgezeigten Methoden darstellen. Mit ihrer Hilfe läßt sich eine große Anzahl innerbetrieblicher Transportprobleme optimal lösen.

3. Das Problem des kürzesten Rundreiseweges

30. Beschreibung des ökonomischen Problems

Wie bereits an anderer Stelle ausgeführt, kann man hinsichtlich des Transportablaufes vier Grundformen von Förderwegen unterscheiden, und zwar den Pendelverkehr, den Flächenverkehr, den Linienverkehr und den Ringverkehr. Der Ringverkehr stellt dabei die höchste Stufe der Organisation von Förderwegen dar, weil weniger der unmittelbare und zum Teil unregelmäßig anfallende Bedarf die Transportabläufe diktiert, sondern weil hier die Möglichkeit besteht, verschiedene liefernde und empfangende Stellen zu einem oder mehreren Transportkreisen zusammenzuschließen[1].

Unter den Voraussetzungen, daß 1. keine zeitliche Reihenfolge beim Anlaufen der einzelnen Punkte einzuhalten ist und 2. daß sich das Fördergut in bezug auf den Förderweg indifferent verhält - entweder dadurch, daß das jeweilige Fördermittel nur liefert oder empfängt (z.B. Abtransport von Abfällen) oder daß weder be- noch entladen wird (z.B. Inspektionsfahrt oder -gang durch den Betrieb) - kann der Ringverkehr unter der Maxime des kürzesten Rundreiseweges erfolgen. Wir haben es hier mit einem Tatbestand zu tun, der in der anglo-amerikanischen Literatur unter der Bezeichnung Travelling Salesman Problem bekannt ist. ANGERMANN[2] bezeichnet das Problem als Selektionsmodell vom Typ B. Darunter wird ein selektives Alternativmodell verstanden, bei dem die Anzahl der möglichen Alternativen so groß ist, daß ihr aller Vergleich praktisch nicht durchgeführt werden kann, und daher spezielle Lösungsverfahren - in der Regel Näherungslösungen - zur Bestimmung der günstigsten Alternative erforderlich werden[3]. Rundreiseprobleme treten auch dann auf, wenn beispielsweise ein bestimmtes Werkstück auf dem kürzesten Weg durch den Betrieb geleitet werden soll. Ebenso spielt bei der Verlegung eines

---

[1] Mellerowicz, K.; Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2. Band, a.a.O., S. 279.

[2] Angermann, A.; Entscheidungsmodelle, a.a.O., S. 118 u. 135.

[3] Angermann, A.; a.a.O., S. 118.

Fließbandes, besonders eines Anbieterbandes, der kürzeste Weg eine entscheidende Rolle. Aber nicht nur der konkrete Weg dient als Objekt des Travelling Salesman Problems, sondern jedes Reihenfolgeproblem überhaupt. Soll zum Beispiel ein bestimmtes Aggregat mehrere verschiedenartige Werkstücke bearbeiten, so entscheiden die Kosten der Umrüstung über die Reihenfolge der Bearbeitung. Die Rüstzeit ist für die verschiedenen Arten von Werkstücken unterschiedlich. So wird für die Einrichtung der Maschine von Produktart A auf Produktart B etwa weniger Zeit benötigt als für die Umrüstung von A nach C. Die kürzeste Umrüstzeit insgesamt zu finden, stellt ein Reihenfolgeproblem im Sinne des Travelling Salesman Problems dar. Besonders aus dem Produktionsbereich lassen sich eine Reihe ähnlicher Beispiele nennen.

Theoretisch ist das Problem des kürzesten Rundreiseweges einfach zu lösen: Man errechnet die Gesamtentfernungen aller möglichen Fahrtrouten und wählt die kürzeste aus. Allerdings bestehen bei n anzufahrenden Stellen $\frac{n!}{2}$ Rundreisewege, mithin würde bei nur 20 Punkten ein Elektronenrechner tausende von Jahren zur Lösung der Aufgabe benötigen[1]. Es existiert jedoch eine Reihe praktischer Verfahren, die - wenn auch nicht in jedem Schritt auf mathematischer Exaktheit beruhend - zu einer richtigen oder zu einer hinreichend genauen Lösung führen. Sie sollen im folgenden beschrieben werden.

31. Darstellung mathematischer Lösungsverfahren

310. Der allgemeine mathematische Ansatz

Das Travelling Salesman Problem ist ein Reihenfolgeproblem. So einfach die Formulierung der Aufgabenstellung ist, so schwierig gestaltet sich die praktische Durchführung seiner Lösung.

[1] S. Churchman, Ackoff, Arnoff; a.a.O., S. 472.

Es sollen n Punkte, deren Verbindungslinien untereinander bekannt sind, durch einen einfachen, geschlossenen Linienzug so miteinander verbunden werden, daß die Gesamtlänge ein Minimum ergibt.

Es bestehen demnach für die Entfernungen d zwischen den einzelnen Punkten i, j, k, ..., n die Bedingungen:

$$d_{ii} = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \qquad (1)$$

$$d_{ij} = d_{ji} \quad (ij = 1, 2, \ldots, n) \qquad (2)$$

$$d_{ij} \leq d_{i,k} + d_{k,j} \quad (i, j, k = 1, 2, \ldots, n) \qquad (3)$$

Beziehen wir sämtliche Verbindungslinien in unsere Rechnung ein, ergeben sich bei vier Orten bereits n! = 24 Variationen, bei 10 Punkten 3628000 mögliche Rundreisewege. Da wir jedoch nach (2) voraussetzen, daß $d_{ij} = d_{ji}$, existiert bei drei Punkten nur ein Rundweg: a - b - c - a, da der retroverse Weg a - c - b - a von gleicher Länge ist.

Wir müssen demnach unterscheiden nach den folgenden Fällen:

1. Ist $d_{ij} \neq d_{ji}$, so bestehen n! Möglichkeiten des Rundreiseweges.

2. Ist kein vorgeschriebener Startpunkt gegeben, gibt es für $d_{ij} = d_{ji}$ 1/2 n! Möglichkeiten.

3. Ist $d_{ij} = d_{ji}$, und ist der Startpunkt vorgeschrieben, existieren 1/2 (n - 1)! Möglichkeiten für die Auswahl der Route.

Der 3. Fall ist typisch für die Behandlung des Travelling Salesman Problems.

In der amerikanischen Literatur findet man zwei Grundtypen von Lösungsverfahren, die beide dem Bereich des Operations Research entstammen.

Der Lösungsversuch mit Hilfe der Erkenntnisse der Simplex-Methode geht auf DANTZIG, FULKERSON und JOHNSON zurück, die eine erste grundlegende Arbeit über das Travelling Salesman Problem im Jahre 1954 veröffentlichten[1]. Eine andere Gruppe, der besonders FLOOD, Julia ROBINSON, KOOPMANS und BECKMANN angehören, stellte die Ähnlichkeit des Rundreiseproblems mit dem sogenannten Assignment Problem fest und versucht, eine Lösung mit dem von FLOOD entwickelten Zurechnungsverfahren zu erreichen[2].

In Deutschland liegen bisher lediglich zwei Beiträge von THÜRING[3] vor, die zwar das Travelling Salesman Problem unter völlig anderen Gesichtspunkten abhandeln, aber den mathematischen Möglichkeiten wie auch den ökonomischen Erfordernissen durchaus gerecht werden.

311. Lösungsversuch mit Hilfe des Dreiecksverfahrens nach THÜRING

3110. Darstellung des Verfahrens

THÜRING entwickelte ein erstes Verfahren, das zwar nicht immer eine eindeutige Lösung gewährleistet, jedoch den Anspruch erheben kann, einen Rundreiseweg zu ermitteln, der in den meisten aller Fälle der optimale ist.

Drei Grundvoraussetzungen müssen nach THURING zunächst erfüllt sein:

1. Es soll zwischen zwei Punkten höchstens eine Verbindung bestehen.

---

[1] Dantzig, G.B., Fulkerson, D.R. and Johnson, S.; Solution of a Large Scale Traveling Salesman Problem, JORSA 1954, Vol. 2, No. 4, S. 393 ff..

[2] Flood, M.M.; The Traveling Salesman Problem, JORSA 1956, Vol. 4, No. 1, S. 61 ff..

[3] Thüring, B.; Die exakte Ermittlung des kürzesten Rundreiseweges, bürotechnik + automation, Sonderausgabe, Baden-Baden, Januar 1960
Thüring, B.; Zum Problem der exakten Ermittlung des kürzesten Rundreiseweges, Elektronische Datenverarbeitung, Heft 4, 1961, S. 147-158.

2. Jeder der n Punkte darf nur einmal berührt werden.

3. In jedem Dreieckweg soll die Summe zweier Direktverbindungen größer sein als die dritte, d.h. die Direktverbindung zwischen zwei Punkten soll immer kürzer sein als der Umweg über einen dritten Punkt. Sofern diese Bedingung nicht erfüllt ist, scheidet die dritte - längere - Direktverbindung aus den weiteren Überlegungen aus.

THÜRING setzt weiter voraus, daß für eine beliebige Anzahl von Punkten bereits ein kürzester Rundweg mit den Punkten A, B, C, ..., n von der Länge W besteht.

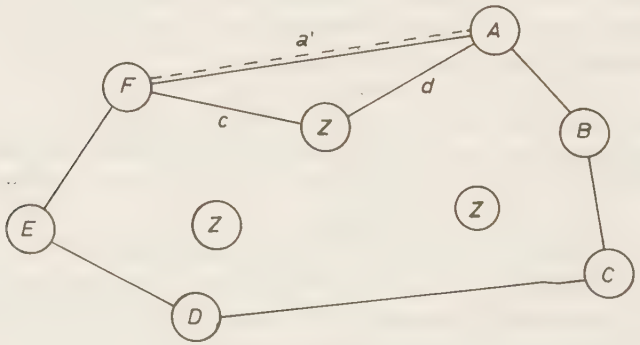


Abbildung 35

Wird ein weiterer Punkt (Neupunkt Z) in den bisherigen Rundweg eingeführt, so geschieht das durch die Verknüpfung des Punktes Z mit zwei Punkten des Rundweges unter Benutzung vorhandener Verbindungslinien. Dadurch entstehen zwei neue Verbindungen, c und d, während die überflüssig gewordene Teilstrecke a' des bisherigen Rundweges gestrichen werden kann. Es entsteht ein neuer Rundweg von der Länge K_1, der gegenüber dem alten einen Zuwachs von Δ_1 aufweist. Dieser Zuwachs ergibt sich aus der Einführung neuer Verbindungen abzüglich der überflüssig gewordenen Verbindungslinien.

$$n = a + b + c \ldots - a' - b' \ldots$$

Die Gesamtlänge des neuen Rundweges beträgt nunmehr

$$K_1 = W + \Delta_1$$

Da es bei n_x Punkten A, B, C, ..., n für die Anknüpfung von Z n_{x+1} Möglichkeiten gibt, ist das Anknüpfungspaar zu wählen, das ein Minimum aller möglichen Zuwächse darstellt. Treten mehrere Z innerhalb des bisherigen Rundweges auf, so ist das Z als erstes in den Rundweg einzubeziehen, dessen Verbindungen zu den zwei Anknüpfungspunkten ein Minimum ergeben.

Diesen kleinsten aller Zuwächse bezeichnet THÜRING mit Δ_a. Somit ist der kürzeste aller Rundwege $W + \Delta_a = K_1$.

Die Gültigkeit dieser Formel ist abhängig von der exakten Ermittlung des Rundweges W. Es muß ein Rundweg vorhanden sein, der für die von ihm verbundenen Punkte der kürzeste ist. Man findet W, indem man innerhalb eines Feldes von n Punkten die äußeren Punkte miteinander verbindet. Für die Punkte A, B, C, D, E, F, G der Abbildung 36 ist der kreis-

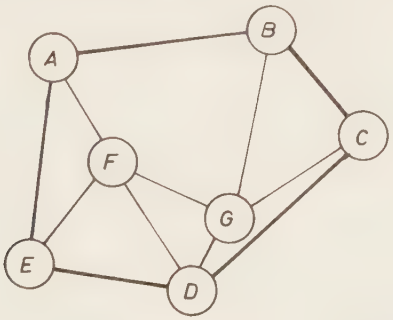


Abbildung 36

förmige Linienzug durch die Punkte A, B, C, D, E der kürzeste Rundweg. Da dieser Weg eine Fläche begrenzt, in der die übrigen Anknüpfungspunkte Z_q liegen, nennen wir ihn den Umfassungsweg (U).

Bei der Einführung eines neuen Punktes Z_1 entfällt eine Direktverbindung des Umfassungsweges, da Z_1 zwei auf U liegende Punkte i und k als Anknüpfungspaar hat. Der neue Zuwachs beträgt $iZ_1 + Z_1k - ik = \Delta^{ik}_{Z_1}$.

Da in der von U umgrenzten Fläche F m Neupunkte liegen, muß unter den möglichen Zuwächsen $\Delta^{ik}_{Z_q}$ der kleinste ermittelt werden. Die dafür erforderlichen Daten stellt man am einfachsten in Form einer Entfernungsmatrix zusammen. Da in der Praxis nicht zwischen allen Punkten (Stellen) Direktverbindungen vorhanden sind, muß diese Matrix durch kürzeste zusammengesetzte Entfernungen vervollständigt werden.

Beispiel A

Die Punkte 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 sind unter Verwendung der gegebenen Direktverbindung durch einen geschlossenen, einfachen Linienzug so zu verbinden, daß die Gesamtlänge ein Minimum ist.

Der Umfassungsweg U, der ohne weiteres ermittelt werden kann, berührt die Punkte 1 9 4 7 6 8 2 1. Seine Gesamtlänge beträgt 324 Entfernungseinheiten.

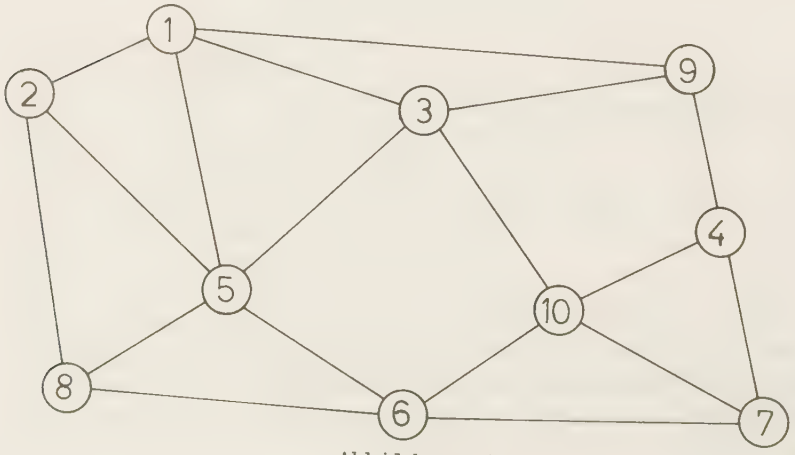


Abbildung 37

				von						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
x	30	47	80	57	94	107	88	65	75	1
	x	77	110	37	74	118	58	95	96	2
		x	33	47	50	60	80	35	28	3
			x	80	44	30	105	36	22	4
				x	37	81	33	82	59	5
					x	44	61	80	22	6
						x	105	66	32	7
							x	115	83	8
								x	58	9
									x	10

nach

Entfernungsmatrix

In dem von U umschlossenen Feld befinden sich drei weitere Punkte (3 5 10), die nunmehr an den Umfassungsweg angeschlossen werden, wobei die jeweiligen Entfernungszuwächse ein Minimum darstellen müssen. Es ist daher erforderlich, die Verbindungen der Neupunkte mit allen möglichen Anknüpfungspaaren herzustellen und zu vergleichen. Die Daten liefert uns zu diesem Zweck die Entfernungsmatrix.

Anknüpfungspaar (AK)

i, k = 2,1

Basislänge (BL) = 30

Relatives Minimum (RM) = 94

- Basislänge (BL)

Minimaler Zuwachs (MZ)

Neupunkt Z =	3	5	10
iZ =	77	37	96
kZ =	47	57	75
	124	94	171
		-30	
$\Delta_5^{2,1}$ =		64	

AK	Z =	3	5	10
1,9	iZ =	47	57	75
BL=65	kZ =	35	82	58
RM		82		
- BL		65		
MZ $\Delta_3^{1,9}$ =		17		

AK	Z =	3	5	10
9,4	iZ =	35	82	58
BL=36	kZ =	33	80	22
RM		68		
- BL		36		
MZ $\Delta_3^{9,4}$ =		32		

AK	Z =	3	5	10
4,7	iZ =	33	80	22
BL=30	kZ =	60	95	32
RM				54
- BL				30
MZ		$\Delta_{10}^{4,7}$	=	24

AK	Z =	3	5	10
7,6	iZ =	60	81	32
BL=44	kZ =	50	37	22
RM				54
- BL				44
MZ		$\Delta_{10}^{7,6}$	=	10

AK	Z =	3	5	10
6,8	iZ =	50	37	22
BL=61	kZ =	80	33	83
RM			70	
- BL			61	
MZ		$\Delta_{5}^{6,8}$	=	9

AK	Z =	3	5	10
8,2	iZ =	80	33	83
BL=58	kZ =	77	37	96
RM			70	
- BL			58	
		$\Delta_{5}^{8,2}$	=	12

Bei dem Vergleich der Minimalzuwächse stellen wir fest, daß $\Delta_{5}^{6,8}$ mit 9 Entfernungseinheiten der kleinste ist. Der Punkt 5 ist daher an das Paar 6,8 anzuknüpfen und die Verbindung 6,8 zu streichen. Der neue Rundweg beträgt nunmehr 333 Entfernungseinheiten. Im weiteren Verlauf wird Punkt 10 mit dem Anknüpfungspaar 7,6 verbunden und die Basis 7,6 gestrichen. Der neue Rundweg beträgt jetzt 343 Entfernungseinheiten. Der Neupunkt 3 wird mit 1,9 verbunden, die Basis 1,9 entfällt. Der neue Rundweg lautet nun: 1 - 3 - 9 - 4 - 7 - 10 - 6 - 5 - 8 - 2 - 1 und ist mit 360 Entfernungseinheiten der kürzeste aller möglichen Rundreisewege.

Ein Sonderfall tritt ein, wenn sich bei der Berechnung des Rundreiseweges zwei gleiche Minimalzuwächse ergeben. Wäre in dem vorliegenden Beispiel die Strecke 6,8 nicht 61 sondern 60 Entfernungseinheiten lang, betrüge $\Delta_{10}^{7,6}$ ebenso wie $\Delta_{5}^{6,8}$ 10 Entfernungseinheiten, d.h. $\Delta_{Zq}^{i,k} = \Delta_{Zr}^{j,l} = \Delta_{a}$. Da die Anknüpfungsreihenfolge in diesem Fall ohne Belang ist, können wir entweder den Punkt 5 oder den Punkt 10 zuerst in den Umfassungsweg einfügen. Eine Änderung des Durchrechnungs-

schemas ergibt sich dadurch nicht.

Anders verhält es sich bei zwei gleichen Minimalzuwächsen für einen Neupunkt. In Abbildung 38 haben wir bei der Einführung des Neupunktes Z sowohl für das Anknüpfungspaar i,k als auch für das Anknüpfungspaar j,k den gleichen Minimalzuwachs von $\Delta = 40$.

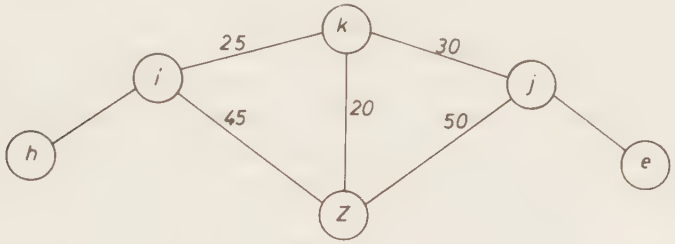


Abbildung 38

$$iZ + Zk - ik = \Delta_Z$$
$$45 + 20 - 25 = 40$$

$$jZ + Zk - jk = \Delta_Z$$
$$50 + 20 - 30 = 40$$

$$Zk = iZ - ik = 20$$
$$Zk = jZ - jK = 20$$

$$\Delta_Z = 2 \cdot Zk$$

Die Strecke Zk ist demnach zweimal in den Rundweg einzubeziehen. Diese Lösung ist nicht eindeutig und entspricht auch nicht der Grundvoraussetzung, daß jeder Punkt nur einmal berührt werden soll. Statt des nach der Formel ermittelten Weges ... i - k - Z- k - j ... kann ebensogut der Weg ... i - Z - k - j ... oder ... i - k - Z - j ... gewählt werden. Alle Wege sind jedoch gleich lang (95 Entfernungseinheiten) und stellen trotz der Alternativlösung die Richtigkeit der angewandten Formel nicht in Frage.

3111. Grenzen der Anwendbarkeit des THÜRINGschen Verfahrens

Der in dem obigen Beispiel nach der Vorschrift THÜRINGs berechnete Rundreiseweg ist der absolut kürzeste. Bei der Durchrechnung ähnlicher Beispiele ergab das Verfahren in besonders gelagerten Fällen jedoch nicht den absolut kürzesten Weg.

Schon allein die Wahl des Umfassungsweges bereitet in der praktischen Durchführung größerer Aufgaben gewisse Schwierigkeiten, da die Entscheidung darüber, ob ein bestimmter Punkt von dem Umfassungsweg berührt werden soll oder als Neupunkt in dem umschlossenen Feld liegen soll, mathematisch nicht eindeutig bestimmbar ist. Selbst wenn man mit Hilfe von Parallelverschiebungen die 4 Eckpunkte des Feldes verbinden würde, hätte man zwar den kürzesten, alle anderen Punkte einschließenden Umfassungsweg, es lägen dann aber so viele Neupunkte im Innern des Feldes, daß eine einfache und schnelle Durchrechnung nicht möglich ist. Um den Rechenprozeß in zeitlich adäquaten Grenzen zu halten und zum Zwecke der Ausschaltung von Fehlerquellen empfiehlt es sich daher, möglichst viele Punkte in den Umfassungsweg einzubeziehen.

Haben wir es innerhalb des Umfassungsweges nur mit einem Neupunkt Z zu tun, ist die Richtigkeit der Berechnung des kürzesten Rundweges mit Hilfe des "Minimal-Dreieckszuwachs-Verfahrens" ohne weiteres gegeben, denn für die Eingliederung nur eines Punktes bestehen $\frac{(n - Z - 1)!}{(n - 1)!}$ Möglichkeiten (n = Anzahl der Punkte auf dem Umfassungsweg), von denen die kürzeste gewählt wird. In unserem Beispiel hätten wir, wie es auch THÜRING tut, für den ersten beliebigen Neupunkt zwischen $\frac{(z + 1 - 1)!}{(7 - 1)!} = 7$ Möglichkeiten zu wählen. Im zweiten Schritt stellten wir nach der Vorschrift THÜRINGs 8 Vergleiche an (7 Basispaare zuzüglich zweier Anknüpfungspaare abzüglich eines Basispaares). Es müßten jedoch streng mathematisch 72 Vergleiche angestellt werden, nämlich $\frac{(8 + 2 - 1)!}{(8 - 1)!}$. Bei m Neupunkten wären demnach $\frac{(n + m - 1)!}{(n - 1)!}$ Möglichkeiten durchzurechnen.

In einer Kritik zu der Darstellung THÜRINGs bezweifelt BYDEKARKEN[1] ebenfalls die mathematische Exaktheit der Lösung in allen Fällen und führt ein Beispiel an, aus dem hervorgeht, daß THÜRINGs Methode nicht zu dem richtigen Ergebnis führt. Die Besonderheit des Beispiels liegt in der Anordnung zweier Neupunkte begründet, die zusammen mit einem Basispunkt auf einer gradlinigen Strecke liegen. Damit ist die Matrix "entartet", denn zwischen den drei Punkten kann es keinen minimalen Dreieckszuwachs geben, da ein Dreieck überhaupt nicht existiert. BYDEKARKEN kommt zu dem Ergebnis, daß "das von THÜRING angegebene Verfahren, durch successive 'Dreiecks-Zuwächse' Punkt für Punkt in den Rundweg einzugliedern, keine exakte Lösung des Problems darstellt, weil

a. die nach seinem Verfahren ermittelten 'minimalen Dreieckszuwächse' keine Minimalzuwächse im engeren Sinne sind bzw.

b. unter Beibehaltung von Dreieckszuwächsen nicht gewährleistet ist, daß das Minimum der gesamten Summe von Dreieckszuwächsen erreicht wird"[2].

BYDEKARKEN scheint dabei übersehen zu haben, daß sich der von ihm für sein Beispiel ermittelte Rundweg auch mit dem THÜRINGschen Verfahren errechnen läßt. Allerdings mit der Einschränkung, daß man neben den Anknüpfungspaaren, die auf dem Umfassungsweg liegen, von vornherein auch die Neupunkte als mögliche Anknüpfungspaare in die Entscheidung einbezieht. Der Rechenprozeß würde sich dadurch nur geringfügig komplizieren. In BYDEKARKENs Beispiel kämen 8 weitere Rechenoperationen hinzu; die Mehrzahl der Verbindungen zwischen den Umfassungswegpunkten und den Neupunkten scheidet von vornherein aus, da sie kein Dreiecksminimum ergeben kann.

---

[1] Bydekarken, Henning R.; Die exakte Ermittlung des kürzesten Rundreiseweges. Bürotechnik + Automation, 1. Jahrgang (1960), Nr. 2.

[2] Bydekarken; a.a.O., S. 39

Es muß betont werden, daß man zu diesem Ergebnis nicht gekommen wäre, wenn man sich streng an das Verfahren nach THÜRING gehalten hätte, da in diesem Sonderfall, wie bereits erwähnt, drei Punkte auf einer gradlinigen Strecke liegen.

Die Tatsache, daß das von THÜRING entwickelte Verfahren in den sogenannten Sonderfällen nicht immer zu dem absolut kürzesten Rundreiseweg führt, schränkt lediglich den Anwendungsbereich des Verfahrens ein, nicht aber seine Exaktheit in den Normalfällen. Wenn auch eine Abgrenzung in aller Strenge zwischen Sonderfällen und normalen Fällen nicht möglich erscheint, enthält doch das THÜRINGsche Verfahren gegenüber anderen Methoden den eklatanten Vorteil, daß es in jedem Falle zu einem Ergebnis führt: bei den Normalfällen zu dem absolut kürzesten Rundweg, bei den Sonderfällen zu einer Annäherungslösung.

312. Lösungsversuch mit Hilfe des Zurechnungsverfahrens

3120. Darstellung des Verfahrens

War bei dem THÜRINGschen Verfahren die Matrix lediglich Hilfsmittel zur mathematisch-graphischen Lösung des Travelling Salesman Problem, so steht in dem folgenden Rechenverfahren die Matrix allein im Mittelpunkt der Untersuchung.

Das Travelling Salesman Problem gehört zu dem Problemkreis der alternativen Substitution; diese Tatsache sowie die mathematische Formulierung der Zielfunktion:

$$\sum_{ij} x_{ij} \; d_{ij} = \text{min.! oder max.!}$$

unter den Nebenbedingungen:

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = \sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1$$

lassen eine enge Beziehung zu dem Zurechnungsproblem (assignment

problem) erkennen, für das die gleichen Bedingungen gelten.

Derartige Probleme können mit Hilfe der von dem Amerikaner HITCHCOCK und dem Russen KANTAROWITCH 1941 unabhängig von einander entwickelten Zuteilungsmethode (distributions method), die nach einer Neuformulierung von FLOOD die Bezeichnung "FLOODsches Zurechnungstheorem" erhielt, gelöst werden[1].

Das Zuweisungsproblem verlangt die Ableitung einer Permutationsmatrix N aus der gegebenen Anfangsmatrix A in der Art, daß die Zuordnung der ausgewählten Koeffizienten ein Minimum ergibt. Die Formulierung des Travelling Salesman Problem enthält lediglich eine Bedingung mehr: die Permutationsmatrix N muß zyklisch sein. So gesehen scheint das Travelling Salesman Problem mit Hilfe der Zurechnungsmethode gelöst werden zu können, denn es ist mathematisch ohne Belang, ob zum Beispiel eine bestimmte Anzahl von Transportoperationen auf eine bestimmte Anzahl von Fördermitteln kostenminimal verteilt werden soll oder ob eine Anzahl von Orten in der Art einander zugeordnet werden, daß die Gesamtentfernung ein Minimum darstellt.

3121. Grenzen der Anwendbarkeit des Zurechnungsverfahrens

Dennoch besteht zwischen dem Assignment Problem und dem Travelling Salesman Problem trotz der grundlegenden Ähnlichkeit beider Probleme ein Unterschied, der die Anwendbarkeit des Zurechnungsverfahrens auf das Travelling Salesman Problem stark einschränkt. Besteht die Lösung des Assignment Problems bereits in der minimalen Zuordnung der Faktoren, so enthält das Rundreiseproblem die spezifische Forderung, die ermittelten minimalen Größen so zu verbinden, daß ein geschlossener Kreis entsteht, der jede Größe nur einmal be-

[1] Flood, M.M.; On the Hitchcock Distribution Problem, Pacific Journal of Mathematics, Band 3, 1953.

führt. Das folgende Beispiel soll diese Problematik veranschaulichen. Wir haben uns dabei die Aufgabe gestellt, aus einer gegebenen Zeitmatrix den zeitlich kürzesten Rundweg zu errechnen.

		von 1	2	3	4	5
	1	x	4	4	6	1
	2	1	x	5	2	3
nach	3	3	8	x	7	10
	4	6	2	3	x	8
	5	7	4	3	3	x

		von 1	2	3	4	5
	1	x	2	1	4	0
	2	0	x	2	0	2
nach	3	0	4	x	3	7
	4	5	0	0	x	7
	5	6	2	0	1	x

Die Lösung des Zurechnungsproblems stellt folgende Zuordnung dar: 1 - 3, 2 - 4, 3 - 5, 4 - 2, 5 - 1. Sie bedeutet jedoch keine Lösung des Travelling Salesman Problems, denn aus der obigen Zuweisung ergeben sich zwei Rundwege, nämlich 1 - 3 - 5 - 1 und 2 - 4 - 2. Ob die Anwendung des Zurechnungsverfahrens zum Erfolg führt, läßt sich a priori nicht bestimmen, so daß der Rechnende in der Mehrzahl aller Fälle die ihm gestellten Aufgaben durchführt, ohne zu einem Ergebnis zu gelangen.

Als Demonstration für eine erfolgreiche Anwendung des FLOOD-schen Zurechnungstheorems geben wir ein Beispiel von MILLER und STARR[1] wieder, dessen Grundlage die folgende Zeitmatrix darstellt.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x	5	7	3	15	2	3	7
2	2	x	8	4	16	3	2	8
3	16	12	x	14	2	15	20	10
4	10	6	4	x	4	9	14	4
5	9	5	3	7	x	8	13	3
6	5	1	1	3	9	x	9	1
7	3	1	3	1	11	2	x	3
8	2	6	8	4	16	3	2	x

Anfangsmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x	3	5	1	13	0	0	5
2	0	x	7	3	15	2	0	7
3	13	10	x	12	0	13	17	8
4	5	2	0	x	0	5	9	0
5	5	2	0	4	x	5	9	0
6	3	0	0	2	8	x	7	0
7	1	0	2	0	10	1	x	2
8	0	5	7	3	15	2	0	x

Endmatrix

[1] Miller und Starr, Executive Decision and Operations Research, Englewood Cliffs, N.J., USA 1960, S. 326 ff..

Die Endmatrix läßt mehrere Lösungsmöglichkeiten für das Assignment Problem zu. So könnte man eine Zuordnung 1 - 2, 2 - 6, 3 - 4, 4 - 7, 5 - 3, 6 - 1, 7 - 8, 8 - 5 treffen. Da diese Lösung jedoch zwei Kreise enthält und damit der Forderung des Travelling Salesman Problems nach einer, alle Punkte umfassenden zyklischen Permutation entgegensteht, müssen wir eine andere Zuweisung finden, die dieser Forderung gerecht wird. Im vorliegenden Falle ist eine solche Möglichkeit gegeben, wenn wir die Zuordnung folgendermaßen vornehmen: 1 - 8, 2 - 6, 3 - 4, 4 - 7, 5 - 3, 6 - 1, 7 - 2, 8 - 5. Der Rundweg lautet dann: 1 - 8 - 5 - 3 - 4 - 7 - 2 - 6 - 1 und ist mit 17 Zeiteinheiten der kürzeste aller möglichen Rundreisewege.

Führt die Lösung des Assignment Problems nicht zu einer Lösung des Travelling Salesman Problems, so besteht - wenn man sich von den mathematischen Vorschriften löst - die Möglichkeit, die Endmatrix zu manipulieren, indem man bestimmte kleinste Elemente, die größer als 0 sind, gleich 0 setzt. Dadurch vergrößert sich die Anzahl der 0-Koeffizienten, und man kann im Wege des "Ausprobierens" zu einer Lösung gelangen. Es ist eine Reihe von Versuchen unternommen worden, um die Endmatrix eines Assignment Problems den Bedingungen des Travelling Salesman Problems entsprechend umzuformen, jedoch ohne positive Erfolge. FLOOD[1] weist lediglich darauf hin, daß eine Lösung für beide Probleme immer dann vorliegt, wenn die Endmatrix des Assignment Problems eine sogenannte "slant solution" enthält, d.h. wenn alle Matrixfelder über der Diagonalen sowie das untere linke Feld (die sogenannte Süd-West-Ecke) mit Nullen besetzt sind.

Obwohl die Anwendung der Verteilungsmethode auf das Rundreiseproblem ihre theoretische Berechtigung hat, stellt sie für die Praxis kein befriedigendes Verfahren dar, weil sie in den meisten aller Fälle zu keinem Ergebnis führt. Dabei darf

---

[1] Flood, M.; a.a.O., S. 70.

jedoch ein Vorteil dieser Methode nicht übersehen werden. Sie findet nämlich auch dann Anwendung, wenn $d_{ij} \neq d_{ji}$. Dieser Vorteil würde gestatten, eine Reihe von Nebenbedingungen, wie Qualität und Zustand der Verkehrswege, Engpässe, Steigungen, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Gegenverkehr, Frequenz der Transportwege durch Betriebsangehörige etc., in die Matrix einzubeziehen.

313. Lösungsversuch durch das Simplex-Kalkül

3130. Darstellung des Verfahrens

Einen entscheidenden Beitrag zum Travelling Salesman Problem leisteten DANTZIG, FULKERSON und JOHNSON[1]. Sie berechneten den kürzesten Rundreiseweg durch die damals 48 Hauptstädte der Vereinigten Staaten von Amerika, einschließlich Washington D.C., wobei sie sich im wesentlichen der Grundkonzeption der von DANTZIG entwickelten Simplex-Methode bedienen. Im Gegensatz zum Zurechnungsverfahren liegt hierbei das Hauptgewicht weniger auf der Entfernungsmatrix als auf einer Matrix sogenannter Hilfskoeffizienten.

Die Ausgangsmatrix enthält die Entfernungseinheiten, wobei die Diagonale 0-Werte aufweist, da wir von der Prämisse $d_{ii} = 0$ ausgehen.

	1	2	3	4	5
1	0	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}
2	d_{21}	0	d_{23}	d_{24}	d_{25}
3	d_{31}	d_{32}	0	d_{34}	d_{35}
4	d_{41}	d_{42}	d_{43}	0	d_{45}
5	d_{51}	d_{52}	d_{53}	d_{54}	0

[1] Dantzig, Fulkerson und Johnson; Solution of a large-scale Traveling Salesman Problem, JORSA 1954, Vol. 2, No. 4, S. 393-410.

Zur Ausschaltung von Mehrfach-Belegungen einer Strecke dient die Matrix mit den Hilfsvariablen x. Da es sich bei dem Travelling Salesman Problem um eine "Ja-Nein"-Alternativentscheidung handelt, kann diese Matrix nur die Werte 1 oder 0 enthalten; das heißt, eine Verbindung ist zustandegekommen (1) oder nicht (0)[1].

Nehmen wir an, die kürzeste Verbindung zwischen fünf Punkten sei 1 - 2 - 3 - 4 - 5. Dann hätte die Matrix der Hilfsvariablen folgendes Aussehen:

	1	2	3	4	5
1	$x_{11}=0$	$x_{12}=1$	$x_{13}=0$	$x_{14}=0$	$x_{15}=0$
2	$x_{21}=0$	$x_{22}=0$	$x_{23}=1$	$x_{24}=0$	$x_{25}=0$
3	$x_{31}=0$	$x_{32}=0$	$x_{33}=0$	$x_{34}=1$	$x_{35}=0$
4	$x_{41}=0$	$x_{42}=0$	$x_{43}=0$	$x_{44}=0$	$x_{45}=1$
5	$x_{51}=1$	$x_{52}=0$	$x_{53}=0$	$x_{54}=0$	$x_{55}=0$

Da in jeder Spalte und Zeile ein Element vorhanden ist, das größer ist als 0, erhalten wir für jede Zeile und Spalte die Randbedingung 1, d.h.

$$\sum_i x_{ij} = \sum_j x_{ij} = 1 \text{ für } x_{ij} \equiv x_{ji} \quad (1)$$

Geben wir der obigen Matrix durch Spiegelung die Form einer Dreiecksmatrix und schließen die Verbindung durch die 5 Punkte zu einem Kreis, so ergibt sich unter Verwendung der Formel $x_{ij} = x'_{ij} + x'_{ji}$ die Matrix

[1] Dabei geht Dantzig von der Überlegung aus, daß die Entfernung zwischen zwei Punkten unabhängig von der Richtung ist. Er bezeichnet die Verbindungen als undirected tours.

	1	2	3	4	5
1	x				
2	1	x			
3	0	1	x		
4	0	0	1	x	
5	1	0	0	1	x

mit der Randbedingung $\sum_{ij} x_{ij} = 2$ (2)

Die Multiplikation der Entfernungsmatrix mit der Matrix der Hilfsvariablen bildet die Hauptmatrix D, die sich im vorliegenden Falle aus 25 Elementen zusammensetzt:

$$D(x) = d_{11}x_{11} + d_{12}x_{12} + d_{13}x_{13} + d_{14}x_{14} + d_{15}x_{15} -$$

$$- d_{21}x_{21} - \ldots - d_{55}x_{55}$$

Als Formel ausgedrückt:

$$D(x) = \sum_{i\ j} d_{ij}x_{ij} \quad (3)$$

Aus dieser Formel ist eine zyklische Permutation abzuleiten, die aus jeder Spalte und Zeile der x_{ij}-Matrix ein positives Element enthält, wobei die Summe der d_{ij} ein Minimum ergeben soll.

$$\sum_{ij} x_{ij}d_{ij} = \min!$$

Unter den Bedingungen:

$$x_{ij} = 1$$

$$i \quad = 1, 2, 3, \ldots, n$$

$$i \neq j;\ x_{ji} \equiv x_{ji};\ x_{ii} = 0$$

1. Beispiel:

Bei der Darstellung ihrer Methode zur Berechnung des kürzesten

Rundreiseweges gehen DANTZIG, FULKERSON und JOHNSON zunächst von einem regelmäßigen Fünfeck aus. Es soll der Beweis geführt werden, daß die Seiten des Pentagons mit ihrer Gesamtlänge von 5 den kürzesten Rundweg durch die fünf Punkte darstellt. Als mögliche Neuverbindungen kommen die Diagonalen mit der Länge $1/2\ (\sqrt{5} + 1) = 1{,}7$ hinzu. In der Matrix erscheinen die Verbindungspaare 1 - 2, 2 - 3, 3 - 4, 4 - 5, 5 - 1, mit 1, alle anderen $\bar{x}_{ij}$ sind gleich 0. D $(\bar{x})$ ist nach (3) 5, wobei $\bar{x}_{ij} = 1$ die bisherigen Verbindungen kenntlich machen soll, die "Basis-Variable" bezeichnet werden. Es ergeben sich nach (2) fünf Gleichungen, die mit dem Parameter π_i (Simplex-Multiplikator) multipliziert werden und somit die Form eines Linear-Programming-Problems erhalten. Die Summe der Gleichungen ist von (3) in Abzug zu bringen.

$$D(x) = \sum_{i>j} d_{ij}x_{ij} - \sum_{i=1}^{n} \pi_i \left(\sum_{j=1} x_{ij} - 2\right)$$

$$= - \sum_{i>j} (\pi_i + \pi_j - d_{ij})\, x_{ij} + 2 \sum_{1}^{n} \pi_i$$

$$= - \sum_{i>j} \delta_{ij} x_{ij} + 2 \sum_{1}^{n} \pi_1$$

wobei

$$\delta_{ij} = \pi_i + \pi_j - d_{ij} = 0 \text{ für Basis-Variable}$$

$$\delta_{ij} = - (\pi_i + \pi_j - d_{ij}) \text{ für Nichtbasis-Variable}$$

Setzen wir die Verbindungen $\bar{x}_{ij} = 1$, $\delta_{ij} = 0$ und $x_{ij} = \bar{x}_{ij}$, dann ist $\bar{x}_{ij}\ \delta_{ij} = 0$ somit - in unserem Beispiel -

$$D(\bar{x}) = 2 \sum_{1}^{n} \pi_i = 5$$

Die Subtraktion des alten Rundweges von dem möglichen neuen ergibt einen negativen Ausdruck.

$$D(x) = - \sum_{ij} \delta_{ij} x_{ij} + 2 \sum_{1}^{n} \pi_i$$

$$-D(\bar{x}) = \qquad\qquad + 2 \sum_{1}^{n} \pi_i$$

$$D(x) - D(\bar{x}) = - \sum_{ij} \delta_{ij} x_{ij}$$

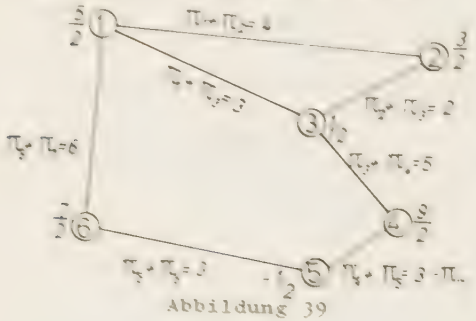
Da $\pi_i = 1/2 (\pi_i + \pi_j - \pi_j + 1 : \pi_j + \pi_i = 1$ usw.) sind alle δ_{ij}-Werte der Basis-Variablen 0, und für die Diagonalen gilt $\delta_{ij} = 1/2 (1 - \sqrt{5}) < 0$.

Damit ist die rechte Seite der obigen Gleichung 0 oder positiv, was bedeutet, daß $D(\bar{x}) < D(x)$ ist. Die Seiten des regelmäßigen Fünfecks bilden somit den kürzesten Rundweg, alle anderen Wege sind länger.

2. Beispiel

Naturgemäß ist die anfangs gewählte Route nicht immer die minimale. Auch in solchen Fällen kommt das Verfahren nach DANTZIG zur Anwendung.

Es sei im folgenden ein weiteres Beispiel der Verfasser aufgezeigt, das sechs Punkte enthält.



	1	2	3	4	5	6
1	x					
2	4	x				
3	3	2	x			
4	7	5	5	x		
5	7	7	6	3	x	
6	6	7	6	5	3	x

Abbildung 39

Als Ausgangsweg wählen wir die Route 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 1 mit $D(\bar{x}) = 2$. Da in diesem Falle die Summe der Verbindungen

eine gerade Zahl ergibt, kann die Bestimmung der π_i nicht in der bisherigen Weise erfolgen, sondern es bedarf der Einführung eines weiteren Basispaares, z.B. 1 - 3. Das ist jedoch nur unter der Voraussetzung möglich, daß ein anderes Basispaar verändert wird, um die Matrixbedingung $\sum_{ij} x_{ij} = 2$ weiterhin zu erfüllen: in diesem Falle $x_{45} + y_7 = 1$ ($y_7 \geq 0$).

Nun kann man - wie in Beispiel 1 - die π_i-Werte aus den Dreiecksverbindungen 1 - 2, 2 - 3, 3 - 1 errechnen und erhält

$$\pi_1 = \frac{5}{2} \quad \pi_2 = \frac{3}{2} \quad \pi_3 = \frac{1}{2} \quad \pi_4 = \frac{9}{2}$$

$$\pi_5 = -\frac{1}{2} \quad \pi_6 = \frac{7}{2} \quad \pi_7 = -1$$

Demnach ist

$$D(x) - D(\bar{x}) = -\delta \sum_{ij} x_{ij} - \pi_7 y_7$$

Wiederum setzen wir die δ_{ij}-Werte für die Basis-Variablen = 0 und errechnen die δ_{ij}-Werte für die Nicht-Basispaare nach der Formel $\delta_{ij} = \pi_i + \pi_j - d_{ji}$. Lediglich $x_{46} = 3$ ergibt eine positive Zahl.

Im weiteren bestimmen wir $x_{46} = \theta$, unter Veränderung der Matrix für die Hilfskoeffizienten und erhalten für θ den Wert 1, für die Basis-Variablen x_{34} und x_{61} 1 - θ. Die letzteren Verbindungen scheiden damit aus dem Wettbewerb aus, während die Strecke 4 - 6 neu eingefügt wird. Diese Veränderung bringt jedoch keine Lösung der Aufgabe, da nunmehr zwei Kreise, 1 - 2 - 3 - 1 und 4 - 5 - 6 - 4 vorhanden sind. Die Existenz des Doppelkreises muß also durch die Einführung einer weiteren Beschränkungsgröße aufgehoben werden. Entsprechend der Matrixrandbedingung bestimmen wir $x_{12} + x_{23} + x_{31} \leq 2$ bzw. $x_{12} + x_{23} + x_{31} + y_8 = 2$.

Gemäß des iterativen Aufbaus dieses Verfahrens beginnen wir wieder von neuem, dieses Mal mit acht Basis-Variablen. Als

π_i-Werte erhalten wir

$$\pi_1 = 4 \quad \pi_2 = 3 \quad \pi_3 = 2 \quad \pi_4 = 3$$
$$\pi_5 = 1 \quad \pi_6 = 2 \quad \pi_7 = -1 \quad \pi_8 = -3$$

Die Subtraktionsformel erfährt demgemäß eine Bereicherung und lautet:

$$D(x) - D(\bar{x}) = -\sum \delta_{ij} x_{ij} - \pi_7 y_7 - \pi_8 y_8$$

Wir geben δ_{24}, das als einziges δ_{ij} einen positiven Wert aufweist, (1), die Bezeichnung θ. Die Transformation der x_{ij}-Matrix verändert zwei Basis-Variable: $x_{12} = 1 - \theta$; $x_{34} = 1 - \theta$. Beide Verbindungen können gestrichen, die Strecke 2 - 4 in den Rundweg eingefügt werden. Dadurch erhalten wir einen neuen Rundweg 1 - 3 - 2 - 4 - 5 - 6 - 1 mit einer Länge von $D(\bar{x}) = 22$. Folglich ist $D(x) = D(\bar{x}) - 1$.

Die neue Route hat die π_i-Werte:

$$\pi_1 = \frac{7}{2} \quad \pi_2 = \frac{5}{2} \quad \pi_3 = \frac{3}{2} \quad \pi_4 = \frac{5}{2}$$
$$\pi_5 = \frac{1}{2} \quad \pi_6 = \frac{5}{2} \quad \pi_7 = 0 \quad \pi_8 = -2$$

Da alle hieraus errechneten $\delta_{ij} \leq 0$ (für die Nichtbasis-Variablen) und die Parameter für y_7 und y_8 ebenfalls $\pi_7 = 0$; $\pi_8 < 0$, folgt, daß entsprechend

$$D(x) - D(\bar{\bar{x}}) = -\sum \delta_{ij} x_{ij} - \pi_7 y_7 - \pi_8 y_8,$$
$$D(\bar{\bar{x}}) < D(x)$$

und der neue Rundweg damit der kürzeste ist.

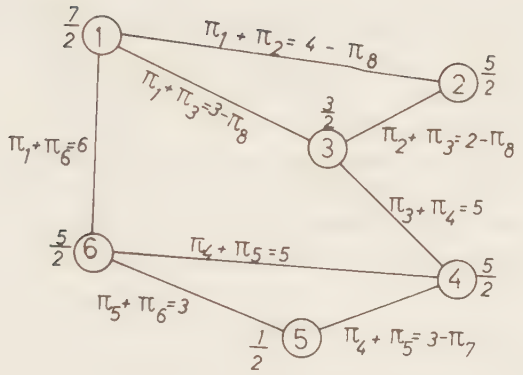


Abbildung 40

3131. Kritische Würdigung des Verfahrens

Im Gegensatz zu anderen bisher entwickelten Methoden gehen DANTZIG, FULKERSON und JOHNSON von einem alle Punkte umfassenden Rundweg aus, für den der Beweis darüber erbracht werden soll, ob es sich um einen minimalen Weg handelt oder nicht. Die Einführung von Simplex-Multiplikatoren gestattet die Darstellung der Aufgabe in der Form eines Linear-Programming-Problems. Der erste Schritt der Durchführung führt zu der Erkenntnis, ob der anfangs gewählte Weg durch einen kürzeren ersetzt werden kann, oder ob er den kürzesten aller möglichen Wege darstellt. Bei größeren Problemen ist es naturgemäß unmöglich, von vornherein den kürzesten Weg auszuwählen - eine Tatsache, die ja den Ursprung der wissenschaftlichen Diskussion über das Travelling Salesman Problem darstellt.

Das zweite Beispiel von DANTZIG u.a. erfordert lediglich drei Iterationen. Die erste führt zu dem Ergebnis, daß der Ausgangsweg nicht der minimale ist, sondern daß eine Lösung existiert, die eine geringere Gesamtlänge aufweist. Da diese Lösung den Forderungen des Travelling Salesman Problemsnicht gerecht wird - sie enthält zwei zyklische Permutationen- wird in der zweiten Iteration der Bildung von Doppelkreisen durch

die Einführung von Beschränkungs-Koeffizienten ausgeschlossen, und es entsteht ein neuer Rundweg, für den im letzten Schritt der Beweis angetreten wird, daß er den kleinsten aller möglichen Rundwege in seinem Bereich darstellt.

Je punktreicher die gestellte Aufgabe ist, desto schwieriger gestaltet sich die Wahl des Ausgangsweges; je weiter dieser wiederum von dem effektiv kürzesten Rundweg abweicht, desto größer wird die Zahl der durchzuführenden Iterationen.

Der Nachteil des vorliegenden Verfahrens liegt jedoch nicht nur in der langwierigen und zum Teil komplizierten praktischen Anwendung, sondern auch in dem Vorhandensein von zufallsbedingten - oder zumindest doch stochastischen - Kriterien. Sind schon die π_i-Werte in einigen Fällen nur unter Hinzunahme von mathematisch nicht eindeutig bestimmbaren Operationen zu ermitteln, so entstehen hinsichtlich der Auswahl der δ_{ij}-Koeffizienten besonders dann Schwierigkeiten, wenn mehrere δ_{ij} mit gleichen positiven Werten auftreten. Für diese Fälle führen DANTZIG u.a. keine Regeln an; man kann die Auswahl der δ_{ij} allenfalls durch Überschlagsrechnung vornehmen.

Da das Verfahren nicht alle vorhandenen Verbindungen in den Entscheidungsprozeß einbezieht, was ja in strenger Form nur theoretisch möglich ist, kann es zu optimalen Lösungen nur in einem mathematisch begrenzten Bereich führen, während es bei infinitesimaler Zuordnung lediglich approximative Ergebnisse zuläßt. DANTZIG selbst weist darauf hin, daß diese Methode keine entscheidende Änderung in dem bisherigen Bemühen um das Travelling Salesman Problem bedeutet, sondern als Annäherungsverfahren zu werten ist. Es muß jedoch konzediert werden, daß den Verfassern der Verdienst gebührt, mit ihrer im Jahre 1954 veröffentlichten Arbeit einen entscheidenden, ersten wissenschaftlichen Beitrag zu dem Travelling Salesman Problem geleistet zu haben, der für eine Reihe anderer Autoren von richtungsweisender Bedeutung war.

314. Lösungsversuch nach einem zweiten Verfahren von THÜRING

3140. Darstellung des Verfahrens

THÜRING[1] hat ein weiteres Verfahren für die Berechnung des kürzesten Reiseweges ermittelt, das im Gegensatz zu der ersten Methode nicht jeweils einen Neupunkt in den Umfassungsweg einbezieht, sondern gegebenenfalls mehrere Neupunkte gleichzeitig. Damit wurde ein Verfahren geschaffen, das auch für die sogenannten Sonderfälle das richtige Ergebnis liefert.

Wie bei der ersten Methode gelten auch hier die Voraussetzungen:

1. $d_{ij} = d_{ji}$
2. Jeder Punkt darf nur einmal berührt werden
3. $a_i + a_j \geq a_k$
4. Der Rundweg darf keine Kreuzungen enthalten, da ein Rundweg mit Wegkreuzungen niemals die optimale Lösung darstellen kann.

Ausgangspunkt ist wiederum der Umfassungsweg, an dessen Basen die Neupunkte einzeln oder als geschlossene Gruppe eingegliedert werden sollen. Für die "geschlossene Gruppe" gibt THÜRING folgende Definition: "Sind p_1 p_2, ..., p_k die Punktanzahlen der einzelnen Gruppen , so ist $p_1 + p_2 + \ldots + p_k = p - n_1$. Nach dem Wegkreuzungssatz darf es keine sich kreuzenden Wege in den einzelnen Gruppen geben, auch die Gruppenwege dürfen sich gegenseitig nicht durchkreuzen; Anfangs- und Endpunkte einer Gruppe sind mit den beiden Basispunkten direkt verbunden"[2].

---

[1] Thüring, B.; Zum Problem der exakten Ermittlung des kürzesten Rundreiseweges, elektronische datenverarbeitung, Heft 4, 1961, S. 147-158.

[2] Thüring, B.; a.a.O., S. 148.

Die Darstellung des Verfahrens soll an Hand des nachstehenden Beispiels erfolgen.

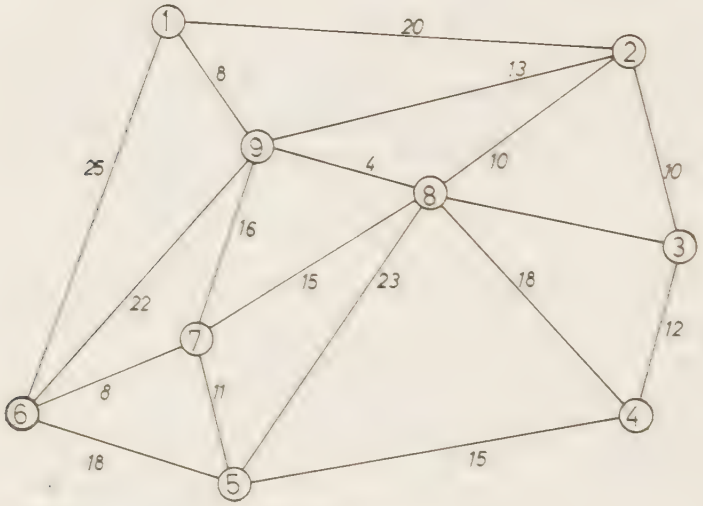


Abbildung 41

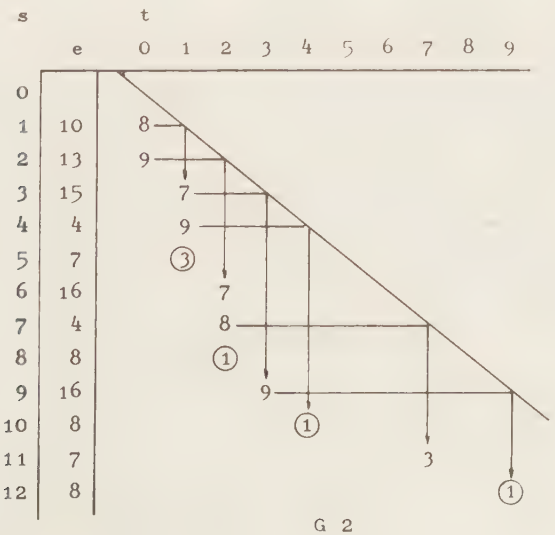
Die Punkte 1 bis 9 sollen durch den kürzesten Rundweg miteinander verbunden werden. Der Umfassungsweg enthält die Punkte 1, 2, 3, 4, 5 und 6. Wir fassen diese Punkte in einer Matrix zusammen. Daß der Umfassungsweg der kürzeste Weg durch die Punkte 1, 2, 3, 4, 5, 6, 1 ist, beweist die "slant solution" der Matrix. Die Neupunkte 7, 8, 9 werden als besonderer Teil der Matrix angegliedert, wodurch wir eine Dreiteilung der Matrix erhalten. Teil U enthält die Direktverbindungen der U-Punkte zueinander. Teil R die Direktverbindungen der Neupunkte zueinander, und im Teil UR stehen die Verbindungen der U-Punkte zu den R-Punkten.

Schritt 1

Die 6 Basispaare des Umfassungsweges werden nun in drei Gruppen mit jeweils einem Mittelpunkt zusammengefaßt: 1,2; 2,3. 3,4; 4,5. 5,6; 6,1. Über die Mittelpunkte 2, 4 und 6 bildet

	Teil U						Teil UR			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1		20				25			8	
2	20		10					10	13	
3		10		12				7		Teil
4			12		15			18		UR
5				15		18	11	23		
6	25				18		8		22	
7					11	8		15	16	
8		10	7	18	23		15		4	Teil
9	8	13				22	16	4		R
	Teil UR						Teil R			

man die Gruppenwege der jeweiligen Basen unter Benutzung der Direktverbindungen im UR-Teil der Matrix. Um alle möglichen Gruppenwege über den einzelnen Basen erfassen zu können, bedient man sich sogenannter Gruppenmatrizen mit dem Spaltensymbol t, dem Zeilensymbol s und einer e-Spalte für die Entfernungen. Im vorliegenden Fall ergeben sich drei solcher Matrizen für die Mittelpunkte 2,4 und 6.



G 2

Ausgehend vom Mittelpunkt 2 für die erste Matrix (G 2) werden nun alle Restpunkte, die in direkter Verbindung zu 2 stehen, aus dem UR-Teil der Hauptmatrix entnommen und untereinander in die Gruppenmatrix eingetragen; in diesem Falle die Punkte 8 und 9. Die entsprechenden Entfernungen trägt man in die e-Spalte ein. Sodann werden aus dem R-Teil der Hauptmatrix alle Verbindungen zu 8 zu den Restpunkten sowie gegebenenfalls zu den Basispunkten, also 1 oder 3, entnommen und im Wege der Spiegelung in die Gruppenmatrix eingetragen. Für 8 finden wir die Punkte 7 und 9 sowie den Basispunkt 3, der mittels eines Kreises besonders gekennzeichnet wird. Ebenso verfahren wir mit dem Punkt 9, für den die Hauptmatrix die Punkte 7,8 und 1 liefert. In dieser Weise fahren wir fort, bis die Möglichkeiten einer Spiegelung für alle Punkte erschöpft sind, das heißt, bis die Spiegelung keine neuen Rundwege mehr ergeben kann. Dabei ist vor jeder Eintragung eines Punktes durch Rückspiegelung festzustellen, ob dieser Punkt nicht bereits in dem Gruppenweg enthalten ist. Wenn dies der Fall ist, unterbleibt die Eintragung.

In dieser Weise fortlaufend erhält man die Gruppenmatrizen G 4 und G 6.

Schritt 2

Aus den 3 Gruppenmatrizen werden nun durch Rückspiegelung die Gruppenwege für jedes Basispaar gebildet. So entstehen über jeder Basis Gruppenrundwege mit 3, 4 oder gegebenenfalls 5 Punkten. Ihre e-Werte werden addiert, die entsprechende Basis davon subtrahiert. Die Differenz ergibt den Zuwachs Δ. So erhalten wir aus der Gruppenmatrix G 2 für die Basis 1,2 die Punktfolge

Gruppenmatrix G 2

			Basis	Δ
1 - 9 - 7 - 8 - 2	= 8 + 16 + 15 + 10	- 20 =		29
1 - 9 - 8 - 2	= 8 - 4 - 10	- 20 =		2
1 - 9 - 2	= 8 + 13	- 20 =		1

Basis 2,3	Δ
3 - 8 - 9 - 2	14
2 - 8 - 3	7

Gruppenmatrix G 4

Basis 3,4	Δ
3 - 8 - 4	13

Basis 4,5	Δ
4 - 8 - 9 - 7 - 5	34
5 - 7 - 8 - 4	29
4 - 8 - 5	26

Gruppenmatrix G 6

Basis 5,6	Δ
5 - 8 - 9 - 7 - 6	33
5 - 8 - 9 - 6	31
5 - 7 - 9 - 6	31
5 - 8 - 7 - 6	28
5 - 7 - 6	

Basis 6,1	Δ
1 - 9 - 8 - 7 - 6	10
1 - 9 - 7 - 6	7
6 - 9 - 1	5

Schritt 3

Im 3. Schritt sind die Gruppenwege nach der Anzahl der Restpunkte zu ordnen, wobei für mehrere Kombinationsmöglichkeiten innerhalb jeder Gruppe nur die mit dem kleinsten Δ ausgewählt werden. In der Gruppe mit 3 Restpunkten existieren 4 Gruppenwege, von denen jeder die Punkte 7, 8 und 9 enthält. Wenn einer dieser Gruppenwege Bestandteil des kürzesten Rundweges werden sollte, so kann es nur der kürzeste sein. In diesem Falle:

Basis	Gruppenweg ohne Basis	Δ
1,6	9 - 8 - 7	10

In der Gruppe mit 2 Restpunkten gibt es insgesamt 7 Gruppenwege für die 3 Kombinationsmöglichkeiten 7 - 8, 7 - 9, 8 - 9. Es ist die Kombination mit dem jeweils kleinsten Δ auszuwählen.

Basis	Gruppenweg o.B.	Δ	R'-Punkte
2,1	8 - 9	2	7
5,6	8 - 7	28	9
6,1	7 - 9	7	8

Die R'-Punkt-Spalte enthält die nicht im Gruppenweg einbezogenen Punkte. In der Gruppe mit einem Restpunkt wird entsprechend die Auswahl nach dem kleinsten Minimum getroffen.

Basis	Gruppenweg o.B.	Δ	R'-Punkte
5,6	7	1	8 - 9
2,3	8	7	7 - 9
2,1	9	1	7 - 8

Schritt 4

Um weitere Streichungen vornehmen zu können und damit die Auswahl auf eine möglichst geringe Anzahl von Möglichkeiten zu konzentrieren, untersucht man, ausgehend von der Gruppe mit 2 Restpunkten, ob die Anknüpfung einer der Gruppenwege mit 2 Restpunkten an seine Basis ein kleineres Minimum ergeben kann als die sukzessive Anknüpfung der beiden entsprechenden Restpunkte. An einem Beispiel demonstriert hieße das: Für die Restpunkte 7 und 8 gibt es je 2 Möglichkeiten der Anknüpfung an den Umfassungsweg. Einmal als Punkte eines gemeinsamen Gruppenweges 7 - 8 mit der Basis 5,6 und einem Δ Wert 28. Zum anderen einzeln mit den Δ Werten 1 und 7. Die Summation der letzten beiden zeigt, daß die einzelne Einfügung der Restpunkte 7 und 8 einen Gesamtzuwachs von $\Delta_G = 8$ gegenüber einem Zuwachs von $\Delta = 28$ bei gleichzeitiger Eingliederung ergibt.

$$\Delta^{2}_{78} > \Delta^{1}_{7} + \Delta^{1}_{8} \quad = \quad 28 > 1 + 7$$

Damit scheidet der Gruppenweg 7 - 8 aus der weiteren Entscheidung aus. Auch der Gruppenweg 7 - 9 wird ausgeschlossen. Grup-

penweg 8 - 9 hingegen verbleibt weiterhin im Wettbewerb, denn für ihn gilt:

$$\Delta_{89}^{2} < \Delta_{8}^{1} + \Delta_{9}^{1} = 2 < 7 + 1$$

Entsprechend verfahren wir bei der Gruppe mit 3 Restpunkten. Da

$$\Delta_{789}^{3} > \Delta_{7}^{1} + \Delta_{8}^{1} + \Delta_{9}^{1} = 10 > 1 + 7 + 1$$

verbleiben für den weiteren Verlauf lediglich die Gruppenwege

Basis	Gruppenweg o.B.	Δ^1
5,6	7	1
2,3	8	7
2,1	9	1
2,1	8 - 9	2

Schritt 5

Im letzten Schritt werden schließlich die Restpunkte derart an den Umfassungsweg angeknüpft, daß die Summe der Δ-Werte ein Minimum ergibt. Zwei Möglichkeiten bieten sich hierbei an:

1. Alle Restpunkte werden einzeln angegliedert. Dabei ergibt die Summe der $\Delta^1 = \Delta_G = 9$.

2. Die Restpunkte 8 und 9 werden gemeinsam und dazu Restpunkt 7 eingegliedert. Der Gesamtzuwachs Δ_G beträgt in diesem Falle $\Delta^2 - \Delta^1 = \Delta_G = 3$.

Die letzte Möglichkeit ist zu wählen, da $\Delta_G = 3$ den kleinsten Zuwachs darstellt. Die Restpunkte 8 und 9 werden demnach mit der Basis 2,1 verknüpft, Restpunkt 7 mit der Basis 5,6 verbunden. Es ergibt sich so der minimale Rundweg 1 - 9 - 8 - 2 - 3 - 4 - 5 - 7 - 6 - 1.

3141. Kritische Würdigung des Verfahrens

Empirische Untersuchungen veranlassen uns zu der Annahme, daß es THÜRING gelungen ist, ein Verfahren entwickelt zu haben, das in allen Fällen zu dem kürzesten Rundweg führt. Da die 2. Methode nur für die sogenannten Sonderfälle gedacht ist, tritt sie nicht in Konkurrenz zu dem ersten Verfahren, das nach unseren Erfahrungen rascher zum exakten Ziele führt als die anderen bisher vorhandenen Näherungsverfahren innerhalb ihres Bereiches.

Der Nachteil des zweiten Verfahrens besteht in dem großen Aufwand an Zeit. Eine Aufgabe mit mehr als 40 Punkten durchzurechnen, ist aus ökonomischen Gründen nicht vertretbar. Hinzu kommt, daß das Verfahren wegen seiner spezifisch geometrischen Grundlage für die Durchführung mit elektronischen Rechenanlagen nur bedingt geeignet ist, da eine Programmierung lediglich für einige Schritte möglich erscheint.

315. Lösungsversuch mit Hilfe des 'branch and bound' Algorithmus

3150. Beschreibung des Verfahrens

Die unseres Wissens letzte wesentliche Veröffentlichung zum Travelling Salesman Problem stammt von LITTLE, MURTY, SWEENEY und KAREL[1]. Das in ihrer Arbeit dargestellte Verfahren beruht weitgehend auf der Konzeption des assignment problem. Ausgehend von einer ersten annehmbaren Lösung (feasible solution), die eine kostenminimale, aber zumeist wegen der einzuhaltenden Permutation nicht akzeptable Matrixlösung darstellt, werden iterativ die Wegstrecken in die Lösung aufgenommen, welche die größten Kosteneinsparungen verursachen. Das Feststellen unterer Kostengrenzen und die schrittweise Verzweigung des Lösungsweges gaben dem Verfahren die Bezeichnung 'branch and bound algorithm'.

---

[1] Little, J., Murty, K., Sweeney, D., Karel, C.; An Algorithm for the Traveling Salesman Problem, JORSA, Dez. 1963, S. 972 ff..

Von wesentlicher Bedeutung bei der Anwendung des Algorithmus ist die Tatsache, das nach der Bestimmung eines Matrix-Elementes zum Wegpaar die entsprechende Zeile und Spalte des Elementes gestrichen werden kann; denn eine Lösungsmatrix kann nur etwa folgendes Aussehen haben:

c_{11}	c_{12}	c_{13}	(c_{14})
c_{21}	c_{22}	(c_{23})	c_{24}
(c_{31})	c_{32}	c_{33}	c_{34}
c_{41}	(c_{42})	c_{43}	c_{44}

Die Lösungselemente sind eingekreist. Eine Lösungsmatrix, in die an Stelle c_{23} etwa das Element c_{43} eingeht, ist für das Rundreiseproblem nicht akzeptabel, weil sie zu keinem geschlossenen, alle Punkte umfassenden Zyklus führt. Der formale Ablauf des Verfahrens sei anhand eines Beispieles von LITTLE u.a.[1] demonstriert

von \ nach	1	2	3	4	5	6	Reduktionswerte h
1	∞	27	43	16	30	26	16
2	7	∞	16	1	30	25	1
3	20	13	∞	35	5	0	0
4	21	16	25	∞	18	18	16
5	12	46	27	48	∞	5	5
6	23	5	5	9	5	∞	5
							5 48

Zunächst ist die oben abgebildete Kostenmatrix C erst zeilen- dann spaltenweise zu reduzieren, um eine untere Grenze zu erhalten. Diese ist markiert durch die Summe der Reduktions-

[1] A.a.O., S. 975 ff..

elemente und wird bezeichnet als w(X), wobei X - wie im weiteren Y und $\overline{Y}$ - die Knotenpunkte der Strecke darstellt. Die Kosten (z) jeder möglichen Tour (t) sind stets größer oder gleich der unteren Grenze:

$$z(t) \geqq w(X)$$

Die Gesamtkosten in der Lösung bestehen aus der ersten Summe der Reduktionselemente und den aus den im weiteren Verlauf entstehenden reduzierten Matrizen gewonnenen Werten für h. Im Gegensatz zu der Vorschrift des Verfahrens kann auf die zeichnerische Darstellung der Einbeziehung neuer Wegpaare und auf die simultane Ermittlung der Kosten verzichtet werden.

Die reduzierte Matrix hat folgendes Aussehen:

	1	2	3	4	5	6
1	∞	11	27	0^{10}	14	10
2	1	∞	15	0^{1}	29	24
3	15	13	∞	35	5	0^{5}
4	0^{1}	0^{0}	9	∞	2	2
5	2	41	22	43	∞	0^{2}
6	13	0^{0}	0^{9}	4	0^{2}	∞

Das erste Wegpaar, das in die Lösung aufzunehmen ist, wird offenbar dasjenige sein, welches den niedrigsten Kostenzuwachs verursacht. Es kann sich mithin nur um solche Elemente handeln, für die $c_{ij} = 0$ gilt. Darüber hinaus muß das in Frage kommende Wertepaar die größte mögliche Kostendifferenz gegenüber anderen vergleichbaren Elementen aufweisen. Betrachten wir in der reduzierten Matrix c_{14}! Wird ein anderer Wert als dieser ausgewählt, so betragen die Kosten in der Zeile i mindestens 10 Einheiten (c_{16}), in der Spalte j mindestens 0 Einheiten (c_{24}), insgesamt also $\Theta = 10 + 0 = 10$ Einheiten.

Die Werte für alle θ sind seitlich über die entsprechenden Elemente gesetzt. Das Wegpaar 1,4 bietet die größte Kosteneinsparung und geht dabei in die Lösung ein.

In der folgenden Matrix kann Zeile 1 und Spalte 4 gestrichen werden, wie aus dem anfangs Gesagten hervorgeht. Das zu dem gewählten Wegpaar k,1 gehörende Pendant 1,k setzen wir unendlich, da es, um einen Unterkreis zu vermeiden, keineswegs in der Lösung erscheinen darf.

	1	2	3	5	6	h
2	1	∞	15	29	24	1
3	15	13	∞	5	0	0
4	∞	0	9	2	2	0
5	2	41	22	∞	0	0
6	13	0	0	0	∞	0
						1

=

	1	2	3	5	6
2	0^{16}	∞	14	28	23
3	15	13	∞	5	0^{5}
4	∞	0^{2}	9	2	2
5	2	41	22	∞	0^{2}
6	13	0^{0}	0^{9}	0^{0}	∞

θmax = 16

Den maximalen θ-Wert besitzt das Paar 2,1, das in die Lösung aufgenommen wird. Die untere Grenze w (X) für das neue Anknüpfungspaar beträgt nun 48 + 1 = 49. Das Element 4,2 ist unendlich zu setzen, um einen Unterkreis auszuschließen.

Der nächste Schritt beginnt wiederum mit einer Reduktion.

	2	3	5	6	h
3	13	∞	5	0	0
4	∞	9	2	2	2
5	41	22	∞	0	0
6	0	0	0	∞	0

=

	2	3	5	6
3	13	∞	5	0^{5}
4	∞	7	0^{0}	0^{0}
5	41	22	∞	0^{22}
6	0^{13}	0^{7}	0^{0}	∞

θmax = 22

Da θ max bei dem Element 5,6 liegt, gelangt dieses in die Lösung. Das Pendant 6,5 wird unendlich. Die Kosten betragen

jetzt 49 + 2 = 51.

	2	3	5	h
3	13	∞	5	5
4	∞	7	0	0
6	0	0	∞	0

=

	2	3	5
3	8	∞	0^8
4	∞	7	0^7
6	0^8	0^7	∞

θmax = 8 für 3,5 und 6,2

Den maximalen Wert für θ finden wir hier für 2 Anknüpfungspaare, nämlich 3,5 und 6,2. In derartigen Fällen ist es gleichgültig, welches Element zuerst in die Lösung aufgenommen wird. Das Endresultat enthält stets beide Elemente. Wir wählen zunächst 3,5. Die untere Kostengrenze beträgt dann 51 + 5 = 56.

Auch die letzte Matrix läßt noch eine Reduktion zu.

	2	3	h
4	∞	7	7
6	0	0	0

=

	2	3
4	∞	0
6	0	0

Da 4,2 = ∞, kommen als letzte Anknüpfungspaare nur 4,3 und 6,2 in Betracht. Die letzte untere Grenze beträgt dann w (Y) = w (X) + h = 56 + 7 = 63. Als optimalen Rundreiseweg erhalten wir die Tour 1 - 4 - 3 - 5 - 6 - 2 - 1. Anhand der Kostenmatrix C können wir die c_{ij} der in die Lösung aufgenommenen Elemente addieren; die Lösung beträgt 63.

3151 Die Qualität des Algorithmus

Wir sind bei der Darstellung des Verfahrens bewußt von der Vorlage abgewichen, um das Problem nur von der Matrix her zu lösen. Ausgehend von der Tatsache, daß das Rundreiseproblem unter bestimmten Voraussetzungen mit Hilfe des FLOOD-schen Zurechnungsverfahrens gelöst werden kann, haben wir nach einer Manipulation der Matrix gesucht, die eine in allen optimale Lösung herbeiführt. LITTLE u.a. haben diesen

Weg gefunden, und ohne daß darauf verwiesen wird, ist die Verbindung zu FLOOD evident: für alle Probleme, die mit Hilfe der Zurechnungstheorie gelöst werden können, erhält man beim 'branch and bound'-Algorithmus nach der ersten Matrix-Reduktion bereits den Kostenwert des optimalen Rundreiseweges. Mit Hilfe des 'branch and bound'-Algorithmus lassen sich kleinere Probleme schnell und sicher von Hand lösen. In den meisten Fällen erübrigt sich ein wiederholtes Niederschreiben der reduzierten Matrizen. Das Verfahren ist ohne Schwierigkeit für elektronische Rechenanlagen zu programmieren. Dabei hat sich gezeigt, daß die Rechenzeit exponentiell mit der Anzahl der Punkte ansteigt. Nach Angaben der Verfasser beträgt sie bei einem 40-Punkte-Problem auf einer IBM 7090 etwas mehr als 8 Minuten.

Die Theorie der 'branch and bound'-Methode ist stichhaltig, jedoch stellt ihre Anwendung keinen Mechanismus dar. Es muß ständig darauf geachtet werden, mögliche Unterzyklen zu blockieren. Wenn es gelingt, auch dieses Kalkül in die Programmierung einzubeziehen, wird die praktische Arbeit an den Elektronenrechnern zeigen müssen, ob das Travelling Salesman Problem als in allen Fällen gelöst anzusehen ist.

4. Die Netzwerktechnik als Instrument der Transportplanung

Die Intensivierung des Planungsgedankens in der betriebswirtschaftlichen und militärischen Theorie und Praxis führte in den USA zu einer Reihe von Methoden der Ablaufplanung[1]. Ihre gemeinsame Grundlage ist die Netzwerktechnik, ihr Zweck die Planung, Koordination und Kontrolle komplexer Abläufe.

40. Entwicklung des Netzwerkes

Das Netzwerk wird gebildet aus Aktivitäten und Ereignissen. Aktivitäten sind zeitbeanspruchende Elemente - Arbeitsverrichtungen, Transporte o.ä. - die durch Graphen wiedergegeben werden. Am Anfang und Ende einer jeden Aktivität stehen

[1] PERT (Program Evaluation and Review), Fortsetzung umseitig.

die Ereignisse, Zeitpunkte also, die in der Regel durch Kreise markiert werden.

Netzwerke sind nicht als räumliche Darstellungen zu verstehen, sondern als logisch-zeitliche Folge von Aktivitäten und Ereignissen. Daher sind Schleifenbildungen nicht statthaft, während konkurrierende Aktivitäten, also solche, die parallel von einem Ereignis zum anderen führen, als Scheinaktivitäten in das Netzwerk eingehen.

Die vereinfachende Darstellung eines Netzwerkes aus dem Bereich des innerbetrieblichen Transportes kann etwa folgendes Aussehen haben[2].

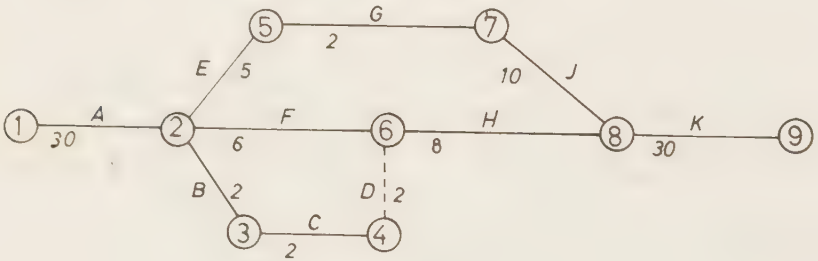


Abbildung 42

Bezeichnet man die Dauer einer Aktivität vom Ereignis i zum Ereignis j mit $d_{i,j}$ so gilt:

$$d_{i,j} \geq 0 \quad \text{und} \quad i < j$$

Für die Bestimmung der Zeit sieht PERT drei Schätzungen vor: eine für die wahrscheinlichste Dauer (m), sowie eine opti-

---

[1] CPM (Critical Path Method)
PEP (Program Evalnation Procedure)
LESS (Least Cost Estimating and Scheduling)
PPT (Program Planning Techniques)
RAMPS (Resource Allocation and Review Technique)

[2] Zur Ausgestaltung des Beispieles vgl. Mertens, P.; Netzwerktechnik als Instrument der Planung, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 34. Jahrgang (1964), S. 383.

mistische (a) und eine pessimistische (b). Die Zeit wird als Erwartungswert (t_e) nach der Beta-Verteilung durch die Formel

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

errechnet, wobei jeder t_e-Wert die Varianz

$$\sigma^2 t_{(e)} = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

als Maß für die Unsicherheit der Aktivitätszeiten erhält.

Aktivität		Ereignis	
	Dauer (Min.)	Beginn	Ende
A Hinfahrt	30	1	2
B Ölkontrolle	2	2	3
C Öl nachfüllen	2	3	4
D Scheinaktivität[1]	(2)	4	6
E Abladen	5	2	5
F Tanken	6	2	6
G Ladefläche reinigen	2	5	7
H Motorkontrolle	8	6	8
I Aufladen	10	7	8
K Rückfahrt	30	8	9

Tabelle 23

Offenbar kann eine Aktivität erst beginnen, wenn die ihr vorgelagerte abgeschlossen ist.

Addiert man die jeweiligen d_{ij}-Werte, die auf den zum Ereignis i führenden Pfaden liegen, so ergibt die größte Summe,

[1] d.h. H kann erst nach Beendigung von F und C beginnen.

d.h. der zeitlängste Weg, den frühestmöglichen Start der Aktivität (i,j) $t(f)_i$. Der längste Weg durch das gesamte Netzwerk führt zu dem Wert $t(f)_z$. Das ist der frühestmögliche Abschluß des gesamten Projektes. Subtrahiert man von $t(f)_z$ die Summe der $d_{i,j}$-Werte entlang der längsten Route von einem Ereignis i bis zum letzten Ereignis Z, so erhält man als das spätestzulässige Ende der Aktivität (i,j) t(s)j.

Für das Ereignis 6 des Beispiels ist $t(f)_6$: 30 + 6 = 36, $t(s)_6$ dagegen 77-(30+8) = 39. Die Ungleichung $t(s)_i > t(f)_i$ bedeutet, daß die Aktivität (i,j) bis zur Herstellung der Gleichung zeitlich ausgedehnt werden kann, ohne daß sich die Gesamtprojektdauer verlängert. Die sich aus der Subtraktion ergebende Differenz bezeichnet man als Pufferzeit oder Schlupf. Auf dem zeitlängsten Weg des Projektes sind die Pufferzeiten aller Ereignisse 0; die Verzögerung einer Aktivität würde zu einer Verlängerung der gesamten Projektdauer führen. Daher nennt man diesen Pfad den kritischen Weg. Zeitliche Veränderungen auf nichtkritischen Wegen können Beschränkungen unterliegen. Man unterscheidet grob zwischen Gesamtschlupf S_{ges} und freiem Schlupf S_f. Ersterer gibt die Zeit an, um die eine Aktivität verlängert werden kann, wenn die ihr vorgelagerten Aktivitäten frühestmöglich gestartet und die ihr folgenden zum spätestzulässigen Termin begonnen werden.

Der freie Schlupf gibt die zeitliche Differenz an, um die eine Aktivität verschoben werden kann, wenn alle vorgelagerten Aktivitäten frühestmöglich gestartet werden, ohne daß sich der frühestmögliche Start der nachgelagerten Aktivitäten verzögert.

Nach CPM erhält man folgende Zeiten[1]:

[1] S. Mertens, P.; a.a.O., S. 385 und Levey, F.K., Thompson, G.L., Wiest, J.D.; The ABCs of CPM, Harvard Business Review, September/Octobre 1963, S. 98 ff..

Frühestmöglicher Anfang der Aktivität (i,j): $t(fa)_{i,j} = t(f)_i$

Frühestmögliches Ende der Aktivität (i,j): $t(fe)_{i,j} = t(f)_i + d_{i,j}$

Spätestzulässiger Anfang der Aktivität (i,j): $t(sa)_{i,j} = t(s)_i - d_{i,j}$

Spätestzulässiges Ende der Aktivität (i,j): $t(se)_{i,j} = t(s)_j$

$S_{ges} = t(sa)_{i,j} - t(fa)_{i,j} = t(s)_j - d_{i,j} - t(f)_i$

$S_f = t(fa)_{i,k} - t(fe)_{i,j} = t(f)_j - (t(f)_i + d_{i,j})$

Im Beispiel verläuft der kritische Weg über die Ereignisse 1 - 2 - 5 - 7 - 8 - 9. Seine zeitliche Länge beträgt 77 Minuten.

Aktivität	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K
i	1	2	3	4	2	2	5	6	7	8
j	2	3	4	6	5	6	7	8	8	9
$d_{i,j}$	30	2	2	2	5	6	2	8	10	30
S_{ges}	0	3	3	3	0	3	0	3	0	0
S_f	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0

Ereignis	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t(f)_i$	0	30	32	34	35	36	37	47	77
$t(s)_i$	0	30	35	37	35	39	37	47	77

Tabelle 24

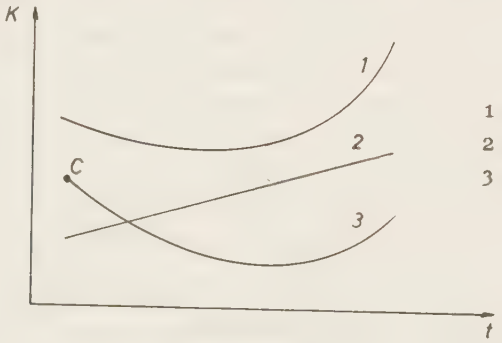
Wie Tabelle 24 zeigt, läßt der nichtkritische Weg eine Verzögerung von 2 Minuten zu, wenn die Aktivitäten entsprechend abgestimmt werden. Die Aktivität H hat sogar einen freien Schlupf von 3 Minuten.

Die Planung von Betriebsabläufen mit Hilfe der Netzwerktechnik ist eine Engpaßplanung. Die kritischen Aktivitäten entscheiden über die Gesamtdauer des Projektes. Die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes kann erhöht werden, wenn man geeig-

nete Maßnahmen trifft, um die auf den nichtkritischen Wegen liegenden Reserven voll auszunutzen.

31. Kostenbetrachtungen

Will man aus besonderen Gründen die Gesamtdauer des Projektes verkürzen, bedeutet die damit verbundene Beschleunigung der kritischen Aktivitäten eine Erhöhung der Aktivitätskosten, wobei vorausgesetzt wird, daß die bisherigen Zeiten auf einer Optimalbeschäftigung basieren. Allgemein impliziert man in der Kostenfunktion K = f(x) die Zeit als konstant. Setzt man die Menge (Beschäftigung) als Parameter, so läßt sich eine Funktion K = f(t) aufstellen. Entsprechend ihrer Verbrauchsfunktionen zeigen die von der Zeit abhängigen Kosten (direkte Kosten der Aktivität) einen zunächst fallenden, dann steigenden Verlauf, während die fixen Kosten hier linear über der Zeit ansteigen.



1 Gesamtkosten
2 Indirekte Kosten
3 Direkte Kosten

Abbildung 43

Mit steigender Geschwindigkeit steigen die direkten Kosten bis zum Erreichen der maximalen Geschwindigkeit (C = Crashpoint) an. Ein Diagramm der direkten Kosten ist für jede Aktivität anzufertigen. Bei der Verkürzung der $d_{i,j}$-Werte entlang des kritischen Weges, wird man zunächst die Aktivität beschleunigen, deren Differentialquotient zwischen t_n und t_m am geringsten ist, d.h. deren Kurve am flachsten ver-

läuft. Liegen die Anpassungsprozesse in engen Grenzen, ist eine lineare Approximation zulässig. Das Steigungsmaß der Verbrauchsfunktion wird dann konstant.

Bei einem Netz von z + 1 Aktivitäten (von 0 bis z) entspricht die Gesamtdauer des Projektes λ dem spätestzulässigen Ende der Aktivität (y · z)

$$t(f)_z = \lambda$$

Der früheste Start ist

$$t(f)_o = 0$$

Ferner gilt, daß die erforderliche Aktivitätszeit gleich oder kleiner ist als die zur Verfügung stehende Zeit:

$$d_{i,j\ eff} \leqq d_{i,j\ max}$$

und schließlich die bereits beschriebene Bedingung

$$0 \leq t_i^C \leq t_i \leq t_i^N$$

Unter diesen Beschränkungen ist die Gesamtkostenfunktion $K(\lambda) = \sum_{i=1}^{n} (b_i - a_i t_i)$ zu minimieren.

Die Netzwerktechnik stellt kein Instrument zur Lösung derartiger Minimierungsprobleme dar. Ein optimaler Ablaufplan kann nicht etwa durch Vertauschen verschiedener Aktivitäten eines Netzwerkes gewonnen werden. Vielmehr muß die Annäherung schrittweise erfolgen durch Beseitigung von Pufferzeiten und Verkürzung kritischer Aktivitäten. Zur Veranschaulichung möge die Weiterführung des obigen Beispieles dienen[1].

---

[1] Anlage des Beispieles nach Mertens, P.; Die Berücksichtigung der Kostenwirkungen bei neueren Verfahren zur Projektplanung, Kostenrechnungspraxis, Nr. 1, 1964, S. 13.

Aktivität	Normal-zeit (min)	Direkte Kosten GE	Kürzest mögl. Zeit (min)	Direkte Kosten GE	Kosten-zuwachs GE/min
A	30	3,--	25	3,50	-,10
B	2	-,15	1,5	-,20	-,10
C	2	-,15	1,5	-,20	-,10
D	2	-	-	-	-
E	5	-,25	4	-,40	-,15
F	6	-,30	5	-,35	-,05
G	2	-,10	2	-,10	-
H	8	-,40	7	-,75	-,35
I	10	-,50	6	1,--	-,125
K	30	3,--	25	3,50	-,10
		7,85		10,--	

Tabelle 25

Die auf dem kritischen Weg liegenden Aktivitäten mit den niedrigsten Grenzkosten sind A und K. Sie können ohne Auswirkungen auf andere Aktivitäten verkürzt werden. Der Mehraufwand beträgt $2 \cdot (5 \cdot 0{,}10) = 1{,}--$ GE. Die Aktivität I kann zunächst nur um 3 Minuten verkürzt werden. Damit wird der Weg 1 - 2 - 6 - 8 - 9 kritisch. Mehraufwand: $3 \cdot 0{,}125 = 0{,}375$ GE. Weitere Verkürzungen sind nur sinnvoll, wenn beide kritischen Wege einbezogen werden. Die Beschleunigung von E und F um je 1 Minute führt zu einem früheren Projektende, bedeutet aber auch eine Kostenerhöhung von 0,20 GE. Eine empfindlichere Kostensteigerung wird im nächsten Schritt anfallen: I und H können nur simultan verkürzt werden. Der Mehraufwand dafür beträgt zusammen 0,475 GE. Die Beschleunigung der Aktivitäten B, C und D führen zu keiner Verringerung der Gesamtdauer, weil sie auf nichtkritischen Wegen verbleiben. Damit verfügt das Netz über 7 kritische Aktivitäten. Ereignis 9 wird nach 62 Minuten erreicht. Die Gesamtkosten betragen 9,90 GE. Ohne Kenntnis des Netzwerkes hätte man wahr-

scheinlich alle Aktivitäten maximal angepaßt und damit auf die - im Beispiel allerdings geringe - Einsparung verzichtet.

Die Netzwerktechnik ist im Bereich des innerbetrieblichen Transportes durchaus anwendbar. Mit ihrer Hilfe können Betriebsabläufe klar dargestellt und analysiert werden. Die Kenntnis kritischer Aktivitäten und Pufferzeiten bietet die Möglichkeit, nicht nur vor Beginn des Projektes, sondern auch während des Durchführungsprozesses Maßnahmen zur Vermeidung von Störungen oder zur Verkürzung der Gesamtdauer zu treffen. Die wesentlichste Aufgabe der Netzwerkmethoden besteht in der Koordinierung und Überwachung von Teilabläufen. Es muß erneut darauf hingewiesen werden, daß der innerbetriebliche Transport einen integrierten Teil der gesamten Produktion darstellt. Daher sind Netzwerke in der Art des obigen Beispieles nur sinnvoll, wenn sie Teil eines größeren Ganzen sind. Ob es überhaupt gelingt, derart detaillierte Planungen durchzuführen, hängt von der Fähigkeit des Betriebes ab, Daten zu erfassen und aufzubereiten.

In einem umfassenderen Netzwerk stellen Transportvorgänge einen Teil der gesamten Aktivitäten dar. Allgemein wird sich dabei zeigen, daß die Anzahl der Transportgraphen dominiert; stets werden einige Aktivitäten des Förderwesens auf kritischen Wegen liegen; das Verhältnis von Bearbeitungszeit zu Transportzeit läßt sich klar aus einem Netzwerk ersehen. Diese Erkenntnisse beweisen, daß die Netzwerktechnik gerade für den Innentransport von größtem Wert sein kann. Die geforderte Trennung zwischen Fertigung und Transport, die die wichtigste Voraussetzung für eine Kostenanalyse gemäß dem Verursachungsprinzip darstellt, kann bei detaillierter Netzwerkplanung eindeutig getroffen werden.

5. Der innerbetriebliche Transport als Rationalisierungsreserve

Der Gewinn aus der Tätigkeit einer Unternehmung bildet sich aus der Differenz von Umsatz und Kosten. Wenn ein verschärf-

ter Wettbewerb preispolitischen Maßnahmen weitgehend hindernd entgegensteht, etwa im theoretischen Fall der atomistischen Konkurrenz, wird sich der Unternehmer im ganz besonderen Maße der Größe Kosten zuwenden müssen, um eine positive Differenz zu bewahren. Bei konstantem Umsatz erhalten die Kosten damit eine entscheidende Rolle für die Gewinnmaximierung. Man kann nicht behaupten, daß die betriebswirtschaftliche Theorie den Problemkreis Kosten und Kostenrechnung vernachlässigt. Im Gegenteil: Die Theorie ist der Praxis zum Teil weit voraus. Andererseits gibt es betriebliche Funktionen, die nur in wenigen Betrieben einen kostenmäßigen Niederschlag und auch in der Literatur wenig Beachtung finden. Dazu gehört der innerbetriebliche Transport. Die Rationalisierungsreserven, die hier ruhen, sind sehr groß. Während z.B. in nahezu allen mittleren und größeren Betrieben die Arbeitsvorbereitung voll ausgebildet ist, findet man ähnliches im Bereich des Förderwesens nur selten. Immerhin haben sich in den letzten Jahren Wissenschaftler und Praktiker zunehmend des innerbetrieblichen Transportes angenommen, wie die Bildung von Fachgruppen, etwa die VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen oder die Herausgabe von Fachzeitschriften, zum Beispiel "Fördern und Heben" erkennen läßt. Allerdings sind die dort behandelten Themen vorwiegend technischer Natur. Es muß jedoch immer mehr auf die Dringlichkeit betriebswirtschaftlich ausgerichteter Untersuchungen hingewiesen werden. Nicht die technische Brillianz eines Transportverfahrens ist maßgebend für dessen Einsatz, sondern exakte Kostenanalysen und Wirtschaftlichkeitsrechnungen. Dem innerbetrieblichen Transport fällt die Aufgabe zu, die Kombination der Produktionsfaktoren räumlich zu ermöglichen. Seine rationelle Gestaltung stellt damit eine wesentliche Voraussetzung für eine optimale Ausnutzung der Elementarfaktoren dar. Eine wirtschaftliche Transportdurchführung kann nur dann erreicht werden, wenn man bereit ist, dem Innentransport die ihm zustehende Bedeutung beizumessen. Dazu gehört auch die Akzeptierung der These von dem Transport als Spielart der Produktion. Auf die große produktionswirtschaftliche Bedeutung des Förderwesens hinzuweisen und zur Lösung transportlicher Probleme beizutragen, war Anliegen dieser Arbeit.

A b k ü r z u n g e n

AWF	=	Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung
BFuP	=	Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis
BRT	=	Beratungsdienst Transport-Rationalisierung
CPM	=	Critical Path Method
FuH	=	Fördern und Heben
HdSW	=	Handwörterbuch der Sozialwissenschaften
JORSA	=	Journal of the Operations Research Society of America
KRP	=	Kostenrechnungspraxis
MAPI	=	Machinery and Allied Products Institut
PERT	=	Program Evaluation and Review Technique
REFA	=	Verband für Arbeitsstudien
RKW	=	Rationalisierungskuratorium der Deutschen Wirtschaft
VDI	=	Verein Deutscher Ingenieure
ZfB	=	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfhF	=	Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

A Bücher

Albach, H.; Investition und Liquidität, Wiesbaden 1962.

Albach, H.; Wirtschaftlichkeitsrechnung bei unsicheren Erwartungen, Köln - Opladen 1959.

Albrecht, H.G.; Gleislose Batteriefahrzeuge und ihre Anwendung, Frankfurt a.M. 1958.

Angermann, A.; Gleichgewichtskalkulation, Meisenheim am Glan 1963.

Angermann, A.; Entscheidungsmodelle, Frankfurt a.M. 1963.

Angermann, A.; Die Verrechnung innerbetrieblicher Leistungen in der Kostenstellenverrechnung, in: Festschrift zum 70. Geburtstag von W.G. Waffenschmidt, Meisenheim am Glan 1958.

Böhrs, H.; Organisation des Industriebetriebes, Wiesbaden 1963.

Borchard, K.H.; Wirtschaftlichkeitsplanung, Wiesbaden 1962.

Le Coutre, W.; Organisationslexikon, Berlin 1930.

Churchman, C.W., Ackoff, R.L., Arnoff, E.L.; Operations Research, Wien - München 1961.

Ellersiek, K.; Materialflußkosten im Betrieb, Rationalisierung der Transport- und Lagerkosten, Wiesbaden 1958.

Ellinger, Th.; Ablaufplanung, Stuttgart 1959.

Ferguson, S.; Linear Programming, New York - Toronto - London 1958.

Ford, H.; Mein Leben und Werk; unter Mitwirkung von S. Crowther, 19. Auflage, Leipzig o.J.

Franzen, G.;	Materialflußgerechte Planung eines Lagers, herausgegeben vom VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen, Düsseldorf 1959.
Gälweiler, A.;	Produktionskosten und Produktionsgeschwindigkeit, Wiesbaden 1960.
Görsch, J., Riege, W.;	Materialfluß in der Einzelfertigung des Maschinenbaus, Wiesbaden 1958.
Grochla, E.;	Materialwirtschaft, Wiesbaden 1958.
Gutenberg, E.;	Grundlagender Betriebswirtschaftslehre, Band I; Die Produktion, 7. Auflage, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1962.
Heiner, H.A.;	Die Rationalisierung des Förderwesens in Industriebetrieben, Berlin 1961.
Heister, M.;	Rentabilitätsanalyse von Investitionen, Köln - Opladen 1962.
Hennig, K.W.;	Betriebswirtschaftliche Organisationslehre, 3. Auflage, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1957.
Hennig, K.W.;	Betriebswirtschaftslehre der industriellen Erzeugung, Wiesbaden 1960.
Henzel, F.;	Lagerwirtschaft, Essen 1950.
Illetschko, L.;	Transport-Betriebswirtschaft im Grundriß, Wien 1957.
Illetschko, L.;	Innerbetrieblicher Transport und betriebliche Nachrichtenübermittlung, Stuttgart 1962.
Immer, J.R.;	Materials Handling, New York - Toronto - London 1953.
De Jong, J.R.;	Multimoment-Aufnahmen, Sonderdruck der Fortschrittlichen Betriebsführung, Berlin o.J.
Kalveram, W.;	Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1960.

Kilger, W.;	Produktions- und Kostentheorie, Wiesbaden 1958.
Koch, H.;	Betriebliche Planung, Wiesbaden 1961.
Köhler, D.;	Organisation der innerbetrieblichen Materialbewegung, Berlin 1959.
Kosiol, E.;	Verrechnung innerbetrieblicher Leistungen, Wiesbaden 1959.
Lockyer, K.G.;	Factory Management, London 1962.
Lohmann, M.;	Der Wirtschaftsplan des Betriebes und der Unternehmung, Berlin - Leipzig - Wien 1928.
Lohmann, M.;	Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 3. Auflage, Tübingen 1959.
Lücke, W.;	Finanzplanung und Finanzkontrolle, Wiesbaden 1962.
Lücke, W.;	Das Gesetz der Massenproduktion in betriebswirtschaftlicher Sicht, in: Zur Theorie der Unternehmung, Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg, Wiesbaden 1963.
Maynard, H.B; (Herausgeber)	Industrial Engineering Handbook, New York - Toronto - London 1956, deutsche Bearbeitung von Krüger, K., Berlin - Köln - Frankfurt 1961.
Mellerowicz, K.;	Kosten und Kostenrechnung, Band 1, 4. Auflage, Berlin 1963, Band 2, Teil 1 und 2, 3. und 4. Auflage, Berlin 1958.
Mellerowicz, K.;	Betriebswirtschaftslehre der Industrie, 2 Bände, 4. Auflage, Freiburg i. Br. 1958.
Mellerowicz, K.;	Planung und Plankostenrechnung, Band 1, Betriebliche Planung, Freiburg i.Br. 1961.
Mey, H.;	Fließarbeit und Förderung von Massengütern, Halle (Saale) 1951.

Meyer, A.;	Die Kosten des Straßentransportes, Separatdruck aus der Zeitschrift Der Lastwagen, Bern 1952.
Miller, Starr;	Executive Decision and Operations Research, Englewood Cliffs, N.J., USA, 1960.
Müller, K.;	Das gleislose innerbetriebliche Transportwesen in der Industrie, Winterthur 1956.
Norden, H.;	Der Betriebsabrechnungsbogen, 7. Auflage, Stuttgart 1958.
Predöhl, A.;	Verkehrspolitik, Göttingen 1958.
Pollock, Fr.;	Automation, Frankfurt a.M. 1956.
Production Handbook;	1. Auflage herausgegeben von Alford, L.P. und Bangs, J.R., New York 1950. 2. Auflage herausgegeben von Carson, G.B., New York 1959.
REFA-Buch;	Arbeitsgestaltung, Band 1, München 1961.
Riebel, P.;	Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht, Wiesbaden 1963.
RKW;	Veröffentlichung Nr. 10, Die gleislose Flurförderung, Berlin 1929; s.a. Handbuch der Rationalisierung, Berlin 1930.
RKW;	Auslandsdienst, Heft 3, Innerbetriebliches Förderwesen, München 1951.
RKW;	Auslandsdienst, Heft 25, Materialbewegung im Betrieb, München 1954.
RKW;	Senkt Transportkosten, Frankfurt a.M. 1952.
RKW;	Grundsätze aus Forschung und Praxis des RKW für die Rationalisierung des innerbetrieblichen Transportes, Die Unternehmung, Nr. 1, 1959.

Rummel, K.;	Einheitliche Kostenrechnung, 3. Auflage, Düsseldorf 1949.
Sack, K.;	Die Kosten des innerbetrieblichen Transportes, Berlin (Ost) 1961.
Schachtschabel, H.G.;	Automation in Wirtschaft und Gesellschaft, Hamburg 1961.
Schmalenbach, E.;	Pretiale Wirtschaftslenkung, Bremen - Horn 1947.
Schmalenbach, E.;	Kostenrechnung und Preispolitik, 8. Auflage, Köln - Opladen 1963.
Schneider, E.;	Einführung in die Wirtschaftstheorie, IV. Teil, 1. Band, Tübingen 1962.
Schneider, E.;	Wirtschaftlichkeitsrechnung, 4. Auflage, Tübingen - Zürich 1962.
Schneider, E.;	Industrielles Rechnungswesen, 3. Auflage, Tübingen 1961.
Slatosch, H.;	Die Probleme des Materialflusses, Stuttgart 1956.
Stackelberg, H. von;	Grundlagen der theoretischen Volkswirtschaftslehre, 2. Auflage, Tübingen - Zürich 1951.
Stackelberg, H. von:	Grundlagen einer reinen Kostentheorie, Wien 1932.
Stocker, H.E.;	Materials Handling, 2nd Edition, New York 1951.
Terborgh, G.;	Dynamic Equipment Policy, New York 1949.
Terborgh, G.;	Leitfaden der betrieblichen Investitionspolitik, Wiesbaden 1962.
Tismer, J.F.;	Die Transportentwicklung im Industrialisierungsprozeß der Sowjetunion, Berlin 1963.
Vazsonyi, A.;	Die Planungsrechnung in Wirtschaft und Industrie, Wien - München 1962.
VDI - AWF;	Handbuch Förderwesen 1959.

Voitl, W.; Der innerbetriebliche Transport, Wien 1958.

Waffenschmidt, W.G.; Produktion, Meisenheim am Glan 1955.

Wittmann, W.; Unternehmung und vollkommene Information, Köln - Opladen 1959.

Weber, H.; Die Planung in der Unternehmung, Berlin 1963.

Zurmühl, R.; Matrizen, 4. Auflage, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1964.

Mehrere Verfasser; Anwendung der Matrizenrechnung auf wirtschaftliche und statistische Probleme, 2. Auflage, Würzburg 1963.

B Aufsätze in Zeitschriften und Sammelwerken

Albrecht, H.G.; Betrachtungen zur Kostenstruktur bei Flurfördermitteln und Kraftfahrzeugen, Industrieanzeiger, Heft 85, 1962, S. 203 ff. und Der Transportberater, Dezember 1962.

Angermann, A.; Kybernetik und betriebliche Führungslehre, BFuP, Heft 5, 1959, S. 257.

Barachet, J.J.; Graphic solution of the Traveling Salesman Problem, JORSA, Dez. 1957.

Beebe, W.L.; The Handling and Transport of Materials in the Modern Factory, Mechanical Handling, Mai 1947, S. 255ff.

Boldyreff, A.W.; The Approximation Technique. The Rand Corporation RM 1521, S. 23-25 ff.,Santa Monica, Cal., USA, 1955.

Bydekarken, H.; Die exakte Ermittlung des kürzesten Rundreiseweges, bürotechnik + automation, Nr. 2, 1960, S. 37.

Charnes, A., Cooper, W.; The stepping stone method of explaining linear programming calculations in transportation problem, Management Science, Vol. 1, No. 1, Baltimore 1954, S. 52.

Dantzig, G.B., Fulkerson, D.R., Johnson, S.; Solution of a Large Scale Traveling Salesman Problem, JORSA 1954, Vol. 2, No. 4, S. 393.

Dantzig, G.B.; Application of the Simplex Method to a Transportation Problem, Activity Analysis of Production and Allocation, New York 1951, S. 359.

Ebeling, K.H.; Einzelabrechnung von Kraftfahrzeugen des werkseigenen Fuhrparks, KRP 1961, S. 25.

Ellersiek, K., Krieg, H.; Materialfluß in der textilerzeugenden Industrie - insbesondere in Spinnereien und Webereien, Materialfluß-Schriftenreihe Transportprobleme gelöst! Herausgegeben vom Arbeitsgebiet Materialfluß im RKW, Frankfurt a.M. 1958.

Flood, M.M.; Application of Transportation Theory to Scheduling a Military Tanker Fleet, JORSA 1954, Vol. 2, No. 2, S. 150.

Flood, M.M.; The Traveling Salesman Problem, JORSA 1956, Vol. 4, No. 1, S. 61.

Ford, L.R., Fulkerson, D.R.; A simple Algorithm for finding maximal network flows. The Rand Corporation, RM-1604, Santa Monica, USA, 1955.

Haldimann, H.R.; Materialflußplanung als Grundlage der Werkstattplanung, in: Planung und Steuerung des Materialflusses in Fertigungsbetrieben. Veröffentlichung der VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen im Programm der VDI-Hauptversammlung, Hamburg 1960.

Hasenack, W.; Industriebetriebslehre, in: Dr. Gablers Wirtschaftslexikon, Wiesbaden 1956.

Hax, K.;	Planung und Organisation als Instrumente der Unternehmungsführung, ZfhF 1959, S. 605.
Heiner, H.A.;	Die Planung von Transport- und Lagerkosten, fördern und heben, Messesonderheft 1960, S. 242.
Kelley jr., J.E., Walker, M.R.;	Critical Path Planning and Scheduling; Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, Boston, Dec. 1959.
Kortzfleisch, G. von;	Wirtschaftliche Produktion durch plangerechten Materialfluß; in: Planung und Steuerung des Materialflusses in Fertigungsbetrieben, Veröffentlichung der VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen im Programm der VDI-Hauptversammlung, Hamburg 1960.
Krippendorf, H.;	Ermittlung der Materialkosten, fördern und heben, Heft 1, 1963, S. 31.
Levey, F.K., Thompson, G.L., Wiest, J.D.;	The ABCs of CRM, Harvard Business Review, Sept./Oct. 1963, S. 98 ff.
Little, J., Murty, K., Sweeney, D., Karel, C.;	An Algorithm for the Traveling Salesman Problem, JORSA, Dec. 1963, S. 972.
Lücke, W.;	Produktionsplanung, in: Handwörterbuch der Sozialwissenschaften, 47. Lieferung, S. 574.
Lücke, W.;	Kosten des innerbetrieblichen Transportes, KRP, Heft 2, 1957, S. 81.
Lücke, W.;	Wirtschaftlichkeitsrechnung im Werkverkehr, ZfB Heft 3, S. 59.
Lücke, W.;	Investitionsrechnung auf der Grundlage von Ausgaben oder Kosten? ZfhF 1955, S. 310.
Mertens, P.;	Die Netzwerktechnik als Instrument der Planung, ZfB 34. Jahrgang (1964) S. 383.

Mertens, P.;	Die Berücksichtigung der Kostenwirkungen bei neueren Verfahren zur Projektplanung, KRP Nr. 1, 1964.
Morton, G., Land, A.;	A Contribution of the Travelling Salesman Problem. Journal of the Royal Statistical Society, London, Vol. 17, No. 2, 1955.
Munz, M.;	Transportkostenplanung, KRP 1959, S. 173.
Munz, M.;	Berechnung optimaler Transportkosten, KRP 1959, S. 105.
Predöhl, A.;	Verkehr, im HdSW, 11. Band, S. 103.
Robacker, T.J.;	Some Experiments on the Traveling Salesman Problem. Rand Corporation RM 1521, Santa Monica, Cal., USA, 1955.
Robinson, J.B.;	On the Hamiltonian Game, Rand Corporation RM-303. Santa Monica, Cal., USA, 1949.
Rummel, K.;	Wirtschaftlichkeitsrechnung. Archiv für das Eisenhüttenwesen. 10. Jahrgang, 1936.
Schöpke, M.;	Transportabteilung und Buchhaltung, Der Buchführer, Nr. 6, 1938, S. 85.
Schucht, K.;	Die Materialförderung in Bergwerksbetrieben, Materialfluß-Schriftenreihe Transportprobleme gelöst! Herausgegeben vom Arbeitsgebiet Materialfluß im RKW, Frankfurt a.M. 1960.
Soom, E.;	Organisation des Transportwesens, Industrielle Organisation 1954, S. 57.
Stucki, A.;	Leistungs- und Kostendaten im Förderwesen, Die Unternehmung, Heft 1, 1956.
Thüring, B.;	Die exakte Ermittlung des kürzesten Rundreiseweges, bürotechnik + automation, Sonderausgabe 1960.

Thüring, B.; Zum Problem der exakten Ermittlung des kürzesten Rundreisewege, Elektronische Datenverarbeitung, Heft 4, 1961, S. 147.

Woitschach, M., Elsässer, P.; Fahrtroutenermittlung mit der IBM 305, IBM Nachrichten, Heft 140, 1959, S. 928.

Zeumer, H.D.; Anleitung für Transportstudien, Werkstattstechnik und Maschinenbau, Heft 1, Januar 1963.

Ohne Verfasser; Der Transportberater. Herausgegeben vom Beratungsdienst Transport-Rationalisierung (BTR), Nummern 1 bis 28.

L e b e n s l a u f

Am 18. April 1935 wurde ich als Sohn des Gewerbeschuldirektors Max Ahlsdorff und seiner Ehefrau Hanna, geb. Baumgart, in Gelsenkirchen geboren. Ich besitze die deutsche Staatsangehörigkeit.

Vom Herbst 1941 bis Ostern 1946 besuchte ich die Volksschule in Hannover sowie - bedingt durch Evakuierung - die Dorfschule in Angerstein bei Göttingen und trat dann in die Hannoversche Humboldt-Oberrealschule ein. Als mein Vater 1947 die Leitung der Göttinger Gewerbeschule übernahm, kam ich dort zum humanistischen Max-Planck-Gymnasium, das ich 1952 mit der Mittleren Reife verließ, um die Laufbahn eines Offiziers der Handelsmarine einzuschlagen. Nach knapp zweijähriger Seefahrtszeit in Großer Fahrt kehrte ich jedoch nach Göttingen zurück, trat Ostern 1954 in die Göttinger Wirtschaftsoberschule ein und bestand dort 1957 das Abitur.

Vom Sommersemester 1957 bis zum Sommersemester 1961 studierte ich - unterbrochen von einem zweisemestrigen Fachstudium in Hamburg und einem USA-Aufenthalt - an der Georg-August-Universität in Göttingen Betriebswirtschaftslehre und legte dort im November 1961 mein Diplom-Kaufmann-Examen ab.

Nach dem Examen war ich zunächst bei den Alcan Aluminium Werken, Göttingen, beschäftigt. Seit September 1962 verwalte ich die Planstelle eines wissenschaftlichen Assistenten bei dem Ordinarius für Betriebswirtschaftslehre an der Universität Göttingen, Professor Dr. Lücke.